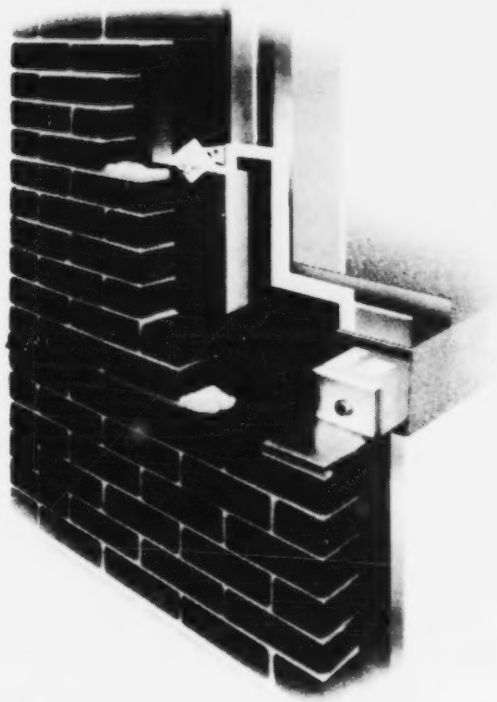
OSSATURE EN ACIER ET PLACAGE DE BRIQUE

GUIDE DES RÈGLES DE L'ART
TECHNOLOGIE DU BÂTIMENT



La SCHL offre un large éventail de renseignements relatifs à l'habitation. Pour obtenir des précisions, adressez-vous au bureau SCHL de votre localité, ou composez le numéro suivant : **1-800-668-2642.**

This publication is also available in English under the title: *Building Technology Brick Veneer Steel Stud*—61120.

103-03964/

LA SCHL : AU CŒUR DE L'HABITATION

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) est l'organisme fédéral responsable de l'habitation. Elle aide les Canadiens à avoir accès à un vaste choix de logements de qualité, à prix abordable.

Le Programme d'assurance prêt hypothécaire de la SCHL a aidé de nombreux Canadiens à réaliser leur rêve de posséder une maison. La SCHL offre une aide financière pour que les Canadiens les plus démunis puissent se procurer un logement convenable, à prix abordable. Par l'entremise de ses activités de recherche, la SCHL stimule l'innovation dans les domaines suivants : conception des habitations, technologie du bâtiment, urbanisme, options de logement et financement. La SCHL s'associe également avec le secteur de l'habitation et les autres membres d'Équipe Canada afin de vendre les produits et le savoir-faire canadiens sur les marchés étrangers et, ainsi, de créer des emplois ici-même, au pays.

La SCHL offre aux consommateurs et aux membres du secteur de l'habitation une vaste gamme de produits d'information susceptibles de les aider à prendre des décisions éclairées concernant leurs achats ou leurs affaires. Avec la plus vaste gamme d'information sur l'habitation et les logements au Canada, la SCHL est le plus important diffuseur d'information sur l'habitation au pays.

Par ses activités, la SCHL contribue à l'amélioration de la qualité de vie des Canadiens, dans toutes les collectivités du pays. Elle les aide à vivre dans des maisons sûres à tout point de vue. Elle est vraiment « au cœur de l'habitation ».

Les Canadiens peuvent se procurer l'information diffusée par la SCHL dans différents points de vente et dans ses bureaux régionaux.

Vous pouvez aussi communiquer avec nous par téléphone :
1 800 668-2642
(à l'extérieur du Canada : (613) 748-2003)
ou par télécopieur : 1 800 245-9274
(à l'extérieur du Canada : (613) 748-2016)

Pour nous joindre en direct, visitez notre page d'accueil à l'adresse suivante : www.cmhc-schl.gc.ca

Données de catalogage avant publication (Canada)

Posey, James B.

Ossature en acier et placage de brique

(Guide des règles de l'art : technologie du bâtiment)
Publ. aussi en anglais sous le titre :
Brick veneer steel stud
Titre courant : Technologie du bâtiment – OAPB.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-660-95307-2
No de cat. NH15-132/1996F

1. Murs extérieurs – Conception et construction.
2. Murs extérieurs – Propriétés thermiques.
I. Little, Andrew, 1946-
II. Société canadienne d'hypothèques et de logement.
III. Titre : Technologie du bâtiment – OAPB.
IV. Titre.
V. Coll.

TH2235.P67 1996 690'.12 C98-980306-0

Réimprimé 2001

© 1996 Société canadienne d'hypothèques et de logement

Imprimé au Canada
Réalisation : SCHL

MANDAT DE LA SCHL

La Société canadienne d'hypothèques et de logement, l'organisme de logement du gouvernement fédéral, a pour mandat d'appliquer la Loi nationale sur l'habitation.

Cette loi a pour objet d'aider à améliorer les conditions d'habitation et de vie au Canada. C'est pourquoi la Société s'intéresse à tout ce qui concerne l'habitation, la croissance et le développement urbains.

Aux termes de la partie IX de la Loi, le gouvernement du Canada autorise la SCHL à consacrer des fonds à la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et à en publier et à en diffuser les résultats. La SCHL est donc habilitée à faire largement connaître tout renseignement de nature à améliorer les conditions d'habitation et de vie. La présente publication est l'un des nombreux moyens d'information que produit la SCHL grâce au concours financier du gouvernement fédéral.

REMERCIEMENTS

Ce guide a été réalisé pour le Centre d'innovation pour les tours d'habitation de la SCHL, Société canadienne d'hypothèques et de logement par James B. Posey, Posey Construction Specifications. Les dessins ont été préparés par Andrew Little, BArch, MRAIC, Andrew Little Architect. Les auteurs tiennent à remercier de leurs conseils et de leur aide Jacques Rousseau et Sandra Marshall et T.W. Trestain, ing., ainsi que M. Hatzinikolas.

DÉNI DE RESPONSABILITÉ

Ce guide a été réalisé par Posey Construction Specifications et Andrew Little Architect pour le compte de la SCHL. L'analyse, l'interprétation et les recommandations formulées sont celles des consultants et ne reflètent pas nécessairement les points de vue de la SCHL.

Les auteurs ont apporté beaucoup de soin à revoir la recherche résumée dans le présent guide, mais ils n'ont nullement tenté de reproduire ou de vérifier les résultats d'expériences ou encore de valider des programmes informatiques. Les auteurs et la SCHL se dégagent de toute responsabilité et ne garantissent aucunement l'exactitude ou l'intégralité des textes, des dessins, de la disquette d'accompagnement ou de leur pertinence à quelque fin que ce soit. Il incombe à l'utilisateur de faire appel aux connaissances d'experts pour exploiter l'information que contiennent les dessins, les devis et le texte, de consulter les sources ou, selon les besoins, un architecte ou un ingénieur.

1 / INTRODUCTION

Objet 1-1

Contexte 1-3

- Avantages 1-4
- Limites 1-4
- Fondement historique des règles de conception 1-5
- Évolution et amélioration 1-6
- Simplifications, raccourcis et omissions 1-6
- Fausses alarmes? 1-7

L'avenir en matière de conception 1-8

2 / SCIENCE DU BÂTIMENT

Contrer l'infiltration d'eau par l'extérieur 2-1

- Équilibrage de la pression 2-2

Mouvement de chaleur et ponts thermiques 2-3

Fuites d'air, diffusion de vapeur et condensation 2-4

Imprécision et variation de position 2-6

- Béton 2-6
- Acier de construction 2-7
- Maçonnerie 2-8
- Expérience sur le terrain 2-8

3 / RÉSULTATS DES RECHERCHES DE LA SCHL

Enquête auprès des utilisateurs et observations sur le terrain 3-1

Études en laboratoire 3-2

- Essais de résistance et de rigidité des composants et des raccordements 3-2
- Essais de perméabilité à l'eau du placage de maçonnerie fissuré 3-5
- Essais de murs de dimensions restreintes soumis à des différences de température, de pression d'air et de pression de vapeur 3-5
- Essais des attaches de la brique employées avec des poteaux d'acier 3-7
- Essais de simulation de vent et de pluie sur des murs de pleines dimensions 3-10
- Résumé des résultats des essais menés à McMaster 3-11
- Recherche de la SCHL : Évaluation d'éléments de construction assurant l'étanchéité à l'air 3-12

Études conceptuelles 3-12

- Exigences structurales des pare-air 3-12
- Modèles d'analyse des éléments finis 3-15
- RAIN 3-16
- EMPTIED 3-16

Autres sources d'information 3-17

4 / CONSÉQUENCES POUR LA CONCEPTION

Étanchéisation de façade 4-1
Systèmes de murs ventilés 4-1
Systèmes de murs à écran pare-pluie 4-2
Condensation dans le revêtement intermédiaire 4-3
Condensation dans le placage de brique 4-5
Déplacement vis-à-vis les appuis 4-7
Tolérances 4-8
Béton 4-8
Acier et métaux divers 4-8
Maçonnerie 4-8
Poteaux d'acier 4-8
Le dernier mot? 4-9
Application 4-9

5 / ASSURANCE DE LA QUALITÉ

Mise en service 5-1
Prototype 5-1
Échantillon d'ouvrage 5-1
Inspection des travaux en cours 5-2
Dernière inspection 5-2
Essais de conformité 5-2

6 / DÉTAILS D'EXÉCUTION ET DEVIS

Fichiers dessins CAO 6-1
Gros oeuvre du bâtiment 6-1
Isolation et étanchéité 6-1
Marge de mouvement 6-2
Cornière d'appui 6-3
Attaches de la brique 6-3
Cavité 6-4
Considérations structurales 6-5
Détail 1 - CHANT DE LA DALLE 6-5
Tolérances 6-5
Isolation du chant de la dalle 6-6
Attaches 6-6
Solins 6-6
Fixation du rail à la structure 6-6
Détail 2 - CORNIÈRE D'APPUI CHAUDE ET CONNECTEUR D'OSSATURE 6-8
Cornière d'appui 6-8
Connecteur d'ossature 6-8
Solins 6-8
Détail 3 - DESSUS ET APPUI DE LA FENÊTRE 6-10
Linteau 6-10
Place des fenêtres 6-10
Appui 6-10
Rebord 6-10

Détail 4 - JONCTION DE LA FENÊTRE ET DE LA SOUS-FACE DE LA DALLE 6-12
Détail 5 - JAMBAGE DE LA FENÊTRE 6-14
Détail 6 - MUR EN SURÉLÉVATION DE FAIBLE HAUTEUR 6-16
Cornière d'appui 6-16
Isolant 6-16
Soutien 6-16
Compartimentation 6-16
Solins 6-16
Couverture 6-18
Détail 7 - CHANT DE LA DALLE ET FONDATIONS 6-18
Détail 8 - JONCTION DU BALCON ET DE LA PORTE-FENÊTRE 6-20
Rebord 6-20
Larmiers 6-20
Fixation du pare-air au pourtour 6-20
Détail 9 - ANGLES 6-22
Compartiments aux angles 6-22
Fixation aux côtés 6-22
Alignement 6-22
Scellement des séparateurs 6-22
Détail 10 - JOINT DE FISSURATION 6-24
Détail 11 - SOFFITE FROID 6-26
Détail 12 - BOUCHE D'ÉVACUATION 6-28
Détail 13 - MUR-RIDEAU : JAMBAGE, APPUI ET DALLE 6-30
Devis 6-32
Division 4 - Maçonnerie 6-32
Division 7 - Isolation et étanchéité 6-32
Section 05410 - Ossature d'acier portant des charges latérales 6-32
Section 09250 - Plaques de plâtre 6-33
Coordination des sections des devis 6-33
Fichiers sur CD-ROM 6-34
Fichiers Dessins 6-34
Fichier Devis 6-34

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie B-1

ANNEXE : DEVIS TYPE

05410 Ossatures d'acier portant des charges latérales A-1

CHAPITRE 1
INTRODUCTION

OBJET

Les récentes recherches ont étendu les connaissances entourant la performance des murs à ossature d'acier et placage de brique. Le présent guide a pour objet d'en distiller les plus importantes conclusions en mettant surtout l'accent sur les aspects de la science du bâtiment et la recherche parrainée par la SCHL, ainsi que de réunir l'information sous une forme accessible aux concepteurs de bâtiments.

Le guide ne tente pas de s'attaquer à la conception structurale proprement dite des murs à ossature d'acier et placage de brique. Le volet structural y est uniquement abordé parce que les décisions de cet ordre se répercutent sur les aspects de l'architecture et de la science du bâtiment intervenant dans la conception des murs, qui risqueraient autrement de passer sous silence. Les lecteurs s'intéressant avant tout à la conception structurale devront s'en remettre aux rapports de recherche originaux de même qu'aux sources d'information sur les méthodes de conception énoncées notamment dans le *Lightweight Steel Framing Design Manual* de l'Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment. Ce guide met plus l'accent sur les aspects traditionnellement architecturaux de la science du bâtiment.

Le lightweight Steel Framing Design Manual de l'Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment s'attaque aux aspects de la science du bâtiment en énonçant la liste de vérification suivante :

- écran pare-pluie;
- vides d'air muraux exempts de débris;
- solins et chantepleures;
- isolant;
- protection, contre l'infiltration d'eau et la condensation, de la résistance et de la rigidité du revêtement intermédiaire (extérieur) qui se détériore en présence d'humidité;
- exécution soignée de l'isolation pour éviter les ponts thermiques;
- continuité du pare-air comportant des joints bien étanches;
- pare-vapeur pouvant faire partie intégrante ou non du pare-air;
- résistance au feu;
- exécution soignée pour minimiser la transmission du son;
- exécution soignée destinée à tenir compte des mouvements de l'ossature du bâtiment;
- exécution soignée destinée à tenir compte des mouvements thermiques de panneaux de grandes dimensions;
- dans une construction à placage de maçonnerie, attaches de la brique traitées contre la corrosion, rigidité et résistance requises et raccordement suffisant aux poteaux d'acier.

Ces points sont abordés ici plus en détail, à l'exception de la résistance au feu et de la transmission du son. L'isolation thermique n'est traitée que dans la mesure où elle influe sur la durabilité du mur, et non par rapport à la consommation d'énergie.

Le chapitre 6 présente des exemples de détails d'exécution et de devis directeur dans le but de faciliter l'application des améliorations proposées.

Le guide ne traite pas de la quantité d'isolant à mettre en œuvre par souci d'efficacité énergétique ou de l'établissement du coût du cycle de vie, de la résistance au feu, de l'isolement acoustique et de l'esthétique. Il s'intéresse surtout au contrôle des mouvements d'humidité, d'air et

de chaleur puisque ne pas en tenir compte risquerait de compromettre la durabilité et le maintien de conditions intérieures satisfaisantes. Lorsqu'ils interagissent avec la conception structurale, le guide énonce les critères à envisager pour garantir une performance architecturale satisfaisante.

D'après la documentation, il apparaît que certains aspects de la conception des murs à placage de brique et ossature d'acier portent à controverse et sont susceptibles d'occasionner des problèmes pour lesquels il n'existe pas de solutions généralement admises ou bien éprouvées. Le guide n'est pas destiné à frayer une seule voie en matière de conception de murs à ossature d'acier et placage de brique. Il offre plutôt de nouveaux outils que le concepteur pourra exploiter pour trouver sa propre voie. Chaque projet de bâtiment, se caractérisant par ses charges environnementales, sa structure et son budget, nécessite des choix conceptuels différents et entraîne des détails d'exécution qui varient de ceux qui sont illustrés. Par contre, les points soulevés, les résultats de la recherche et les outils analytiques proposés s'appliquent cependant tous à un vaste éventail de bâtiments.

Les murs extérieurs à ossature d'acier ont fait l'objet de critiques, surtout à titre de murs de fond pour le placage de brique. Pourtant, leur coût peu élevé, leur faible encombrement et leur légèreté les rendent intéressants. Les murs à ossature d'acier et placage de brique conçus de façon à tenir compte de l'information fournie permettront d'éviter les difficultés rencontrées dans le passé.

Les conditions de conception que précisent les codes ne produisent rarement en service, et ne surviennent jamais au cours de la durée utile de bon des bâtiments. Soumettre des échantillons de murs de dimensions intégrales aux conditions extrêmes de tenue en service attendue constitue la seule façon de hâter la découverte de problèmes de conception. Les détails d'exécution fournis au chapitre 6 tiennent compte de l'acquis obtenu de plusieurs programmes d'essais de simulation de conditions extrêmes de tenue en service parrainés par la SCHL.

Les problèmes les plus répandus des murs extérieurs à ossature d'acier découlent de leur incapacité à exclure l'humidité et ainsi à prévenir la formation de condensation ou autre détérioration. La pluie constitue la source la plus évidente, mais les fuites d'air occasionnant la condensation est une cause commune, quoique moins évidente. Les ponts thermiques et les déperditions de chaleur localisées donnent lieu à des décolorations, ou même à de la condensation, sur les faces intérieures à l'endroit des poteaux d'ossatures murales isolées uniquement dans les espaces entre les poteaux. Le cas échéant, les problèmes structuraux se manifestent généralement par la détérioration du placage et des revêtements de finition. Ils peuvent accroître les fuites d'air et la pénétration de la pluie, ou encore nuire à l'apparence, mais compromettront rarement la sécurité, sauf à long terme s'il en résulte de la corrosion.

Certains problèmes qui ont été associés aux murs à ossature d'acier et placage de brique n'ont rien à voir avec l'ossature d'acier. L'épaufrure de la brique résultant d'une marge insuffisante en prévision du raccourcissement dû au fluage et du fléchissement de la structure du bâtiment peut se produire quel que soit le mur de fond utilisé. Si les tolérances ne font l'objet d'aucune coordination visant à prévoir une marge de manoeuvre suffisante pour tenir compte des imprécisions dimensionnelles inévitables, le constructeur n'a d'autre choix que d'improviser d'autres détails d'exécution. Ainsi, tout mur risque de subir les méfaits de la condensation ou de la pénétration de la pluie s'il n'est pas conçu pour leur faire obstacle.

CONTEXTE

Les éléments constituants d'un mur type à ossature d'acier conçu pour porter des charges latérales et donner libre cours au raccourcissement et au fléchissement de l'ossature en partie supérieure du mur sont illustrés à la *Figure 1-1*.

L'ossature d'acier s'utilise depuis plus de 40 ans pour porter des charges latérales. L'a propos du système, suivant pour porter le parement extérieur rigide, a été remis en cause par certaines autorités. Lors d'un

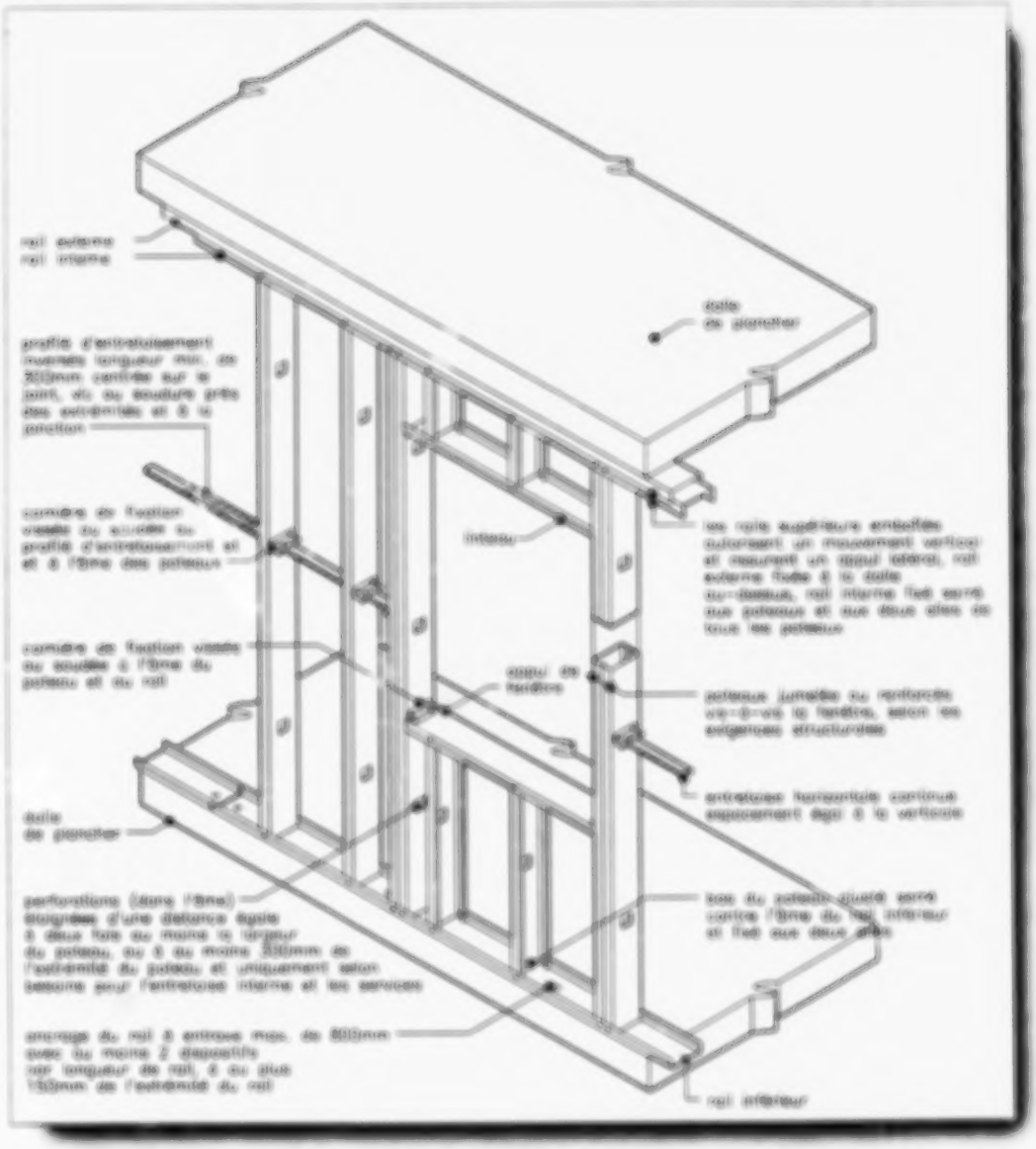


Figure 1-1 : Éléments d'un mur type à ossature d'acier portant des charges latérales.

récent sondage mené pour le compte de la SCHL[1], les répondants se sont classés eux-même comme suit :

- 60 % réconcepteurs pour la plupart sont des utilisateurs exprimant certaines réserves;
- 20 % rentrepreneurs pour la plupart sont des utilisateurs enthousiastes;
- 10 % ne croient pas à ses mérites;
- 10 % ne sont pas des utilisateurs qui manifestent cependant une ouverture d'esprit.

En rétrospective, il peut sembler que son usage répandu ait précédé une analyse et une recherche étendues, mais l'ossature d'acier s'inspirait à l'origine de méthodes bien connues. Nous aurions tout lieu d'être surpris si 40 années de service et d'essais ne nous indiquaient pas qu'il y a matière à amélioration.

Certaines modifications sont devenues monnaie courante par suite de la publication d'investigations sur le terrain et en laboratoire, alors que d'autres ont été apportées dans le dessein de réaliser des économies en éliminant des caractéristiques apparemment inutiles. Les rapports de défaillance éveillent même chez certaines personnes des craintes suffisantes pour qu'elles recommandent tout simplement de ne pas recourir au système. En réaction à des critiques grandissantes, les chercheurs se sont mis résolument à la tâche de découvrir les problèmes dissimulés et de vérifier le fondement des règles de conception par rapport à la performance de murs pleines dimensions soumis à des conditions extrêmes de tenue en service anticipée. À cette fin, la SCHL a récemment achevé une série d'études impliquant autant l'investigation de bâtiments existants que des observations en laboratoire dans des conditions de service simulées. Dans le cadre de ce programme, la Société a publié un document d'orientation consacré au placage de brique des tours d'habitation[2].

Les chapitres 2 et 3 passent en revue les principes de la science du bâtiment et les modes de défaillance observés lors des études en vue de mettre en lumière les paramètres de conception des murs à ossature d'acier et placage de brique. Nous pourrions abandonner l'ossature d'acier au lieu d'examiner les problèmes en détail et de remédier à la situation, mais nous renoncerions du même coup aux avantages que représentent le coût peu élevé, la légèreté et la rapidité d'exécution qui ont d'abord contribué à la popularité du système.

Avantages

Les murs extérieurs à ossature d'acier connaissent de la popularité en raison de leur légèreté, de leur exécution facile et rapide, de leur coût peu élevé et de leur faible encombrement. Conçus et exécutés correctement, ils se révèlent aussi durables et capables de résister à des surcharges extrêmes que les systèmes plus lourds.

En plus de réduire le coût des matériaux, aussi bien du système mural que de la structure d'appui, l'ossature d'acier légère évoque la notion de protection de l'environnement.

Limites

Dans le passé, les méthodes de conception suivies dans bien des cas s'avéraient simples, la majorité des détails d'exécution étant réalisés de manière empirique ou confiés aux hommes de métier lors de la construction. La facilité d'une telle approche a abouti à bien des difficultés observées en service. Il faut porter une attention plus minutieuse à la conception pour obtenir des murs à ossature d'acier efficaces.

---

1 Keller, *Séminaire de la SCHL sur les systèmes de murs à placage de brique*.
2 Drysdale et Suter, *Construction des murs extérieurs des bâtiments de grande hauteur*.

Les éléments d'une ossature d'acier sont constitués d'un matériau mince par rapport à leurs dimensions globales. L'ossature d'acier est peu coûteuse (donc susceptible d'être perçue comme ne méritant pas beaucoup d'efforts en matière de conception), et pourtant elle est tout aussi compliquée à concevoir sur le plan analytique que l'ossature en acier de construction. Dans le passé, la conception de la plupart des raccordements et des éléments, à l'exception des poteaux types, ne reposait pas sur des bases concrètes. Les perforations, les charges ponctuelles et les risques de dommage localisé étaient souvent négligés. Un mur à ossature d'acier bien conçu n'est pas soumis aux difficultés qu'on risquerait de lui attribuer autrement, quoique le niveau de prévoyance par kilogramme de matériau utilisé puisse être plus élevé que pour d'autres systèmes.

En raison de la minceur de ses éléments, il importe de s'assurer que l'ossature d'acier et ses raccordements ne se corroderont pas. L'épaisseur de la matière première ne revêt pas autant d'importance que l'épaisseur de l'enduit de galvanisation en ce qui concerne la perte d'intégrité structurale due à la corrosion. Dans une ossature en acier de construction lourd, on peut souvent tenir compte de la corrosion en augmentant modérément l'épaisseur des éléments. Une perte de 0,25 mm de matériau ne représente que 5 % de l'épaisseur d'origine d'un élément de 5 mm, soit 25 % de l'épaisseur d'un élément en tôle d'acier de 0,9 mm. Les systèmes de murs à ossature d'acier sont aussi peu en mesure d'emmagasiner l'humidité en attendant son évaporation ultérieurement, comparativement aux murs en maçonnerie massive d'antan. C'est pourquoi les fuites d'air, la température des composants et la condensation en découlant méritent d'être considérées minutieusement.

Fondement historique des règles de conception

Au cours de l'établissement des épures, la conception consiste généralement à choisir les dimensions des poteaux, à partir du tableau des portées maximales du fabricant, en fonction de diverses combinaisons de largeur, d'épaisseur, de charge et de flèche admissible. Lors de l'enquête de la SCHL menée en 1986, les concepteurs participants ont indiqué qu'ils considéraient comme appropriées les flèches se situant entre L/240 et L/720 (55 % ont indiqué L/360 et seulement 7 % L/720, alors que 10 % estimaient adéquate tout flèche inférieure à L/360). Les détails d'exécution recevaient assez peu d'attention, étant fondés sur des normes de référence admises ou des pratiques standards établies de facto par des gens de métier plutôt que sur l'analyse. Les devis fournissaient des directives supplémentaires, mais variaient rarement d'un projet à l'autre malgré la différence des paramètres de conception. À l'exemple des détails d'exécution des dessins, ils étaient fondés sur des normes acceptées. Les tableaux fournis par les fabricants étaient dérivés conformément à la norme CSA S136. Ils étaient cependant souvent fondés sur les notions de charges uniformes et de flexion simple. Certains tableaux ne faisaient aucun cas des effets secondaires provoqués notamment par le flambage d'âme, des charges localisées attribuables aux attaches ou aux dispositifs de fixation, du déplacement latéral vis-à-vis les raccordements, et des effets localisés autour des ouvertures dans l'âme. De nombreux tableaux présumaient également que le contreventement suffisait pour obvier à la rotation sur toute la longueur de chacun des éléments.

Les concepteurs n'étudiaient pas de façon approfondie la probabilité d'une tenue en service humide. Même si une forme quelconque de protection par galvanisation était presque immanquablement prévue, souvent le degré de protection offert ne recevait pas l'attention qu'il mérite.

Rarement étaient envisagés la possibilité que le plancher et les colonnes puissent varier de leur place exacte sur les dessins, ou les effets que ces écarts pouvaient exercer sur l'ossature murale, les raccordements et

l'aspect du parement. Il revenait au constructeur de modifier au coup par coup les détails d'exécution lorsque la place véritable de la structure ne lui permettait pas de procéder à la mise en oeuvre acceptable du parement, même si la structure respectait les tolérances des codes et devis correspondants.

Évolution et amélioration

Certaines défaillances ont été largement rendues publiques. La plupart des concepteurs ayant fréquemment préconisé le recours à l'ossature d'acier connaissent probablement quelques problèmes moins bien connus. Les techniques admises à une certaine époque ont donc été progressivement modifiées.

Les ossatures triangulées soudées ne s'emploient plus, leur coût constituant à lui seul une raison suffisante, bien que certaines défaillances leur aient été propres.

Une flèche limite de L/720 est plus souvent considérée comme nécessaire lorsque les poteaux portent un placage de maçonnerie, et c'est devenu récemment une exigence standard.

L'utilisation de deux rails en tête du mur règle la question des charges axiales non intentionnelles, alors qu'un seul rail surmontant les poteaux coupés court était jugé suffisant à une certaine époque. Cela permet de raccorder les deux ailes du poteau pour en prévenir la torsion. Il existe, dans certaines zones du marché, des connecteurs qui assujettissent l'âme de chacun des poteaux directement à la structure, assurant un raccordement plus rigide en plus de contrer l'effet de torsion et les charges axiales.

Bon nombre de concepteurs admettent que par souci d'efficacité le contreventement doit être raccordé aux poteaux et que les plaques de plâtre à l'intérieur et le parement à l'extérieur ne s'avèrent pas toujours fiables pour faire obstacle à la rotation, encore moins à l'action conjuguée. Les fabricants recommandent maintenant de fixer aux poteaux les entretoises métalliques tenant lieu de contreventement.

Des concepteurs de bâtiment déléguent maintenant le calcul détaillé des systèmes d'ossatures porteuses et la conception des détails d'exécution aux ingénieurs spécialistes des charpentes en acier formé à froid. Le plus souvent, cette tâche fait partie des travaux de l'entrepreneur. La majeure partie du processus décisionnel (allant parfois jusqu'à inclure l'épaisseur des poteaux) revenait toujours à l'entrepreneur, mais aujourd'hui l'attribution des rôles s'est officialisée et le niveau de soin escompté rendu plus explicite.

Il s'est déjà produit des cas où l'humidité a causé d'importants dommages à l'ossature métallique et aux plaques de plâtre de murs extérieurs à ossature métallique. Les causes possibles n'ont pas toutes été établies, mais la plupart des concepteurs comptent maintenant sur ce qu'ils jugent être un mur à *écran pare-pluie* et la technologie des fenêtres a évolué au point qu'il soit peu probable que des fuites en provenance de la pièce d'appui parviennent jusque dans la cavité murale.

La formation de ponts thermiques est reconnue comme problème autant sur le plan de l'économie d'énergie que de l'esthétique dans certains cas, lorsque des marques de poussière se manifestent vis-à-vis chaque poteau.

Simplifications, raccourcis et omissions

La conception structurale des murs extérieurs à ossature métallique est souvent laissée pour compte. En effet, lors de l'établissement des épures, l'ingénieur de structure, en l'occurrence la partie possédant la formation voulue pour la tâche, estime que cet aspect se situe hors de la portée des travaux structuraux et de ses honoraires. C'est ainsi que la conception du système est laissée au soin de l'architecte. Comme l'architecte dispose rarement de personnel versé dans la conception structurale des ossatures en tôle d'acier, la consultation des tableaux

des charges du fabricant de poteaux détermine généralement leurs dimensions. Il pourra toujours demander l'avis du représentant du fabricant, s'il peut compter sur les judicieux conseils d'un expert.

Certains concepteurs présument que la mise en oeuvre d'un revêtement de part et d'autre des poteaux assure un contreventement latéral suffisant, ayant constaté la rigidité, sinon la robustesse, du revêtement intermédiaire en plaques de plâtre, de même que la faiblesse des charges s'exerçant en général sur le contreventement. Même si les devis prévoient un contreventement métallique, il se peut très bien que les constructeurs de certaines régions qui ne sont pas habitués à en faire usage n'en posent pas.

Parfois des modifications difficiles à expliquer en présumant de bonnes intentions et du souci de faire preuve de diligence sont apportées au système reconnu. Des poteaux intérieurs, de 0,53 mm ou moins, de la largeur indiquée sur les plans, s'utilisent quelle que soit l'épaisseur spécifiée ou prévue par les tableaux de charge du fabricant. Des dispositifs contre-indiqués, comme les vis utilisées pour les plaques de plâtre intérieures, servent à fixer le rail supérieur et le rail inférieur. L'espacement des dispositifs de fixation assujettissant le rail à la structure, et le revêtement intermédiaire aux poteaux, est souvent bien plus distancé que ce qu'indiquent les normes reconnues ou les devis. Les poteaux sont souvent maintenus en place uniquement par friction, jusqu'à la pose du revêtement intermédiaire et du revêtement intérieur de finition reliant les poteaux au rail. On fait souvent abstraction de toute bosselure ou de tout bombement, quoique ces défauts réduisent la capacité porteuse.

Il existe des vices de construction répandus, comme fixer les poteaux au rail uniquement du côté intérieur (accessible), ou pas du tout; tailler les poteaux à une longueur standard, donc trop courts pour certains endroits en raison de la variation des dimensions réelles à pied d'oeuvre; et s'abstenir de poser des profilés de contreventement. Même s'il y en a, les profilés de contreventement ne sont pas toujours fixés les uns aux autres ou chevauchés aux extrémités, ou encore assujettis aux poteaux.

Fausses alarmes?

La Société de gestion d'assurance Encon a fait paraître, à l'intention des architectes et ingénieurs assurés par le Groupe Simcoe Érie, le Bulletin Information Prévention citant essentiellement en manchette que l'utilisation des murs à ossature d'acier et placage de brique devrait être restreinte suite aux recherches d'un spécialiste sur les défaillances reliées à ce type de construction[3]. Il cite trois principales raisons à l'appui :

- risque de défaillance structurale imputable à l'humidité;
- fissuration du placage de brique sous l'effet des surcharges de calcul dues au vent;
- impropriété des attaches murales commerciales.

Le mur de fond à ossature d'acier n'est particulièrement sujet qu'au premier problème, les deuxième et troisième étant répandus dans les systèmes à placage de maçonnerie. À titre d'exemple, le bulletin traite de la défaillance des murs à ossature d'acier d'un immeuble d'appartements de 12 étages survenue à Dartmouth, en Nouvelle-Écosse, en 1977, faisant état des problèmes suivants constatés :

- infiltration d'eau par les fenêtres jusque dans le mur;
- placage de brique faisant saillie au-delà du bout de la cornière d'appui en raison d'un mauvais alignement;
- cornières mal placées et rouillées;

[3] Cowie, *La défaillance des colombages d'acier*.

- aucun joint souple sous les cornières, bombement et fissuration du placage;
- cavité pontée par des bavures de mortier, chantepleures obturées;
- solins manquants ou impropres;
- revêtement intermédiaire en plaques de plâtre grandement endommagées par l'eau;
- poteaux et rails rouillés;
- humidité et affaissement de l'isolant dans les espaces entre les poteaux;
- manque flagrant d'étanchéité à l'air, signes de condensation;
- feuille d'aluminium du côté intérieur des plaques de plâtre endommagée par l'eau de pluie.

Bon nombre de ces défauts se retrouvent également dans des bâtiments avec des murs de fond autres qu'en acier. En réalité, seulement trois d'entre eux sont propres à la construction à ossature d'acier. Point n'est besoin d'éviter de recourir au mur de fond à ossature d'acier pour résoudre le problème. Par contre, il est évident qu'il y a des aspects à aborder :

- contrôle de l'infiltration d'humidité dans le mur, qu'il s'agisse de pluie ou de condensation;
- choix de matériaux que l'eau n'endommagera ou n'altérera pas pour les endroits du mur qui ne peuvent pas être maintenus à l'état sec;
- alignement, soutien et protection du placage de maçonnerie contre les contraintes imprévues (situation commune de tous les systèmes portant un placage de maçonnerie).

Le premier Bulletin Information Prévention n'est pas passé sans commentaire. Il a été suivi peu de temps après par un autre bulletin, *Le succès des murs avec parement de briques et colombages de soutien en acier*.[4] Ce deuxième bulletin réfute en termes succincts le premier, résume les récents travaux de recherche de la SCHL et formule des recommandations visant à éliminer les infiltrations d'eau en aménageant un *écran pare-pluie* et les fuites d'air en mettant en oeuvre un pare-air du côté intérieur.

L'AVENIR EN MATIÈRE DE CONCEPTION

Les questions que soulève le premier bulletin de la société Encon ont été mises en évidence par les récents travaux de recherche et sont d'ailleurs abordées dans les sections suivantes. Les détails d'exécution et les devis présentés au chapitre 6 montrent comment améliorer progressivement les méthodes courantes de façon à obtenir une meilleure tenue en service. Le deuxième bulletin de la société Encon fournit le point de départ pour mettre au point d'autres détails d'exécution du pare-air intérieur. Une grande partie de l'information présentée ici se révélera utile aux lecteurs qui désirent poursuivre cette démarche, bien que les détails d'exécution fournis ici prévoient la mise en oeuvre du pare-air du côté froid des poteaux. Les techniques d'exécution dont fait état le présent guide n'ont pas encore été suivies dans la pratique ni éprouvées en service de sorte qu'il est impossible d'attester qu'elles fonctionnent aussi bien qu'elles le devraient, mais elles conservent vraiment les caractéristiques éprouvées des réussites du passé en plus d'en ajouter de nouvelles lorsque les recherches indiquent qu'elles amélioreront la performance. Voici la teneur d'un extrait du bulletin *Le succès des murs avec parement de briques et colombages de soutien en acier* :

4 Trestain, *Le succès des murs avec parement de briques et colombages de soutien en acier*.

> «L'information nécessaire pour bien concevoir et construire adéquatement des systèmes de mur PB/CA*existe et est à la portée de la main. En optant pour un système de mur PB/CA, les concepteurs peuvent être assurés qu'ils fournissent aux propriétaires d'immeubles une technique de construction moderne et économique, robuste et bien éprouvée.»
>
> *PB/CA: placage de brique et colombages d'acier (à noter que dans le corps du texte, colombages d'acier a été replacé par poteaux d'acier, par souci d'uniformité).

D'autres recherches s'imposent dans le domaine des tolérances. En effet, on sait peu de choses au sujet des tolérances possibles, sans parler de leurs connotations économiquement optimales, en construction résidentielle. Le Digest de la construction au Canada CBD 171F traite bien la question et indique l'information limitée quant aux imprécisions observées. La conception des détails d'exécution du chapitre 6 présume que les tolérances spécifiées dans les codes correspondants en vigueur peuvent être respectées, malgré que l'expérience puisse indiquer que les méthodes de construction courantes ne permettent pas toujours d'y parvenir.

Qui se chargera de la conception structurale détaillée? Voilà la décision la plus importante que doit prendre l'architecte. Le barème des honoraires de l'architecte et de l'ingénieur de structure n'offre pas beaucoup de marge de manoeuvre quant au surplus de travail à effectuer en matière de conception, pas plus que tous les ingénieurs de structure s'y connaissent bien en conception d'ossatures légères en acier. Le devis directeur invite généralement le constructeur à confier à un spécialiste la conception détaillée de l'ossature murale et l'établissement des dessins d'atelier. Si le soumissionnaire moins-disant passe outre à cette exigence, il en résulte des coûts que personne n'a prévus et l'ouvrage risque d'en souffrir.

Il y a des avantages à ce que le constructeur s'occupe de la conception détaillée. Par contre, l'ingénieur spécialiste des ossatures légères en acier le fait avec plus d'efficacité, à moindre coût. Libérer l'architecte ou le consultant en structure de cette fonction rend l'ossature d'acier plus concurrentielle avec les matériaux requérant moins d'intervention en matière de conception. Par contre, achever l'étude technique avant de procéder à l'appel d'offres assure une meilleure coordination, une conception plus économique, et un processus d'appel d'offres plus serré. La situation vaut surtout si le placage de maçonnerie, les attaches et l'ossature sont conçus comme un système structural interactif, puisque le contrôle de certains de ces éléments se perd une fois que l'appel d'offres est lancé. Le concepteur oeuvrant pour le compte du sous-traitant chargé de réaliser l'ossature d'acier ne contrôle pas le choix de certains éléments importants, les attaches en particulier. Idéalement, l'ingénieur effectuant le travail de conception avant le lancement de l'appel d'offres devrait être un spécialiste des structures, mais le supplément à engager constitue une forte mesure de dissuasion, à moins d'être acquitté en sus des honoraires usuels de l'architecte.

CONTRER L'INFILTRATION D'EAU PAR L'EXTÉRIEUR

L'eau peut traverser un mur sans toucher à sa face extérieure en s'infiltrant par un orifice (comme une fenêtre ouverte) en descendant le long de la surface jusqu'à ce qu'elle trouve un passage la conduisant en bas à travers le mur et en imbibant les fissures et les pores trop petits pour que la tension superficielle favorise son écoulement par gravité. L'ajout d'une différence de pression d'air accroît considérablement la quantité d'eau traversant ainsi le mur. Si le mur est d'une seule venue, même sans qu'une différence de pression agisse, n'importe quel de ces trois moyens d'infiltration laissera tôt ou tard passer l'eau jusqu'à l'intérieur si l'eau réside à l'extérieur suffisamment longtemps. Comme les murs très épais peuvent absorber un fort volume d'eau, l'infiltration peut prendre un bout de temps. Il ne se construit généralement plus de murs épais, mais tellement de murs comportent une cavité séparant la face intérieure de la face extérieure. Les orifices du mur externe ne sont pour la plupart pas alignés sur ceux du mur interne (exception faite des fenêtres ouvertes), de sorte que l'eau qui traverse la face extérieure par gravité ou en raison de la pression d'air s'exerçant sur les pores saturés et les fissures coulera généralement le long de l'arrière de la face extérieure, où elle pourra alors être interceptée et évacuée à l'extérieur par les solins et les chantepleures. La quantité d'eau qui trouve un trajet descendant jusqu'à l'intérieur ou qui vient en contact avec des matériaux poreux du mur de fond est réduite tout comme celle qui aboutira à l'intérieur. Si rien ne vient contrer les effets de la différence de pression d'air, le mur à cavité est à juste titre qualifié de mur *ventilé*.[1] En termes plus usuels, il s'agit d'un *mur à cavité*, sauf que ce terme s'étend à une vaste gamme de possibilités. Le mur réalisé de façon à contrer toute infiltration d'eau par l'extérieur fait appel à l'*étanchéisation de façade*.

Le mur *ventilé* exerce un certain contrôle sur l'infiltration d'eau sans devoir compter sur une face extérieure tout à fait parfaite. La moindre imperfection de l'*étanchéisation de façade* permettra à l'eau de parvenir jusqu'à l'intérieur sauf s'il s'agit de murs épais poreux qui emmagasinent l'eau jusqu'à ce qu'elle puisse s'évaporer). La *Figure 2-2* montre la quantité d'eau admise dans les cavités de 3 échantillons de *murs ventilés* à placage de brique mis à l'essai avant et après qu'ils se fissurent lors des essais de charge.

La performance d'un *mur ventilé* s'améliore de façon remarquable en équilibrant la pression d'air de la cavité et de l'extérieur. Lorsque l'équilibrage se fait, aucune pression ne pousse l'eau à travers les pores minuscules et les fissures du mur. L'eau s'arrête plutôt derrière la face extérieure, stoppée par la tension superficielle (la seule force lui ayant

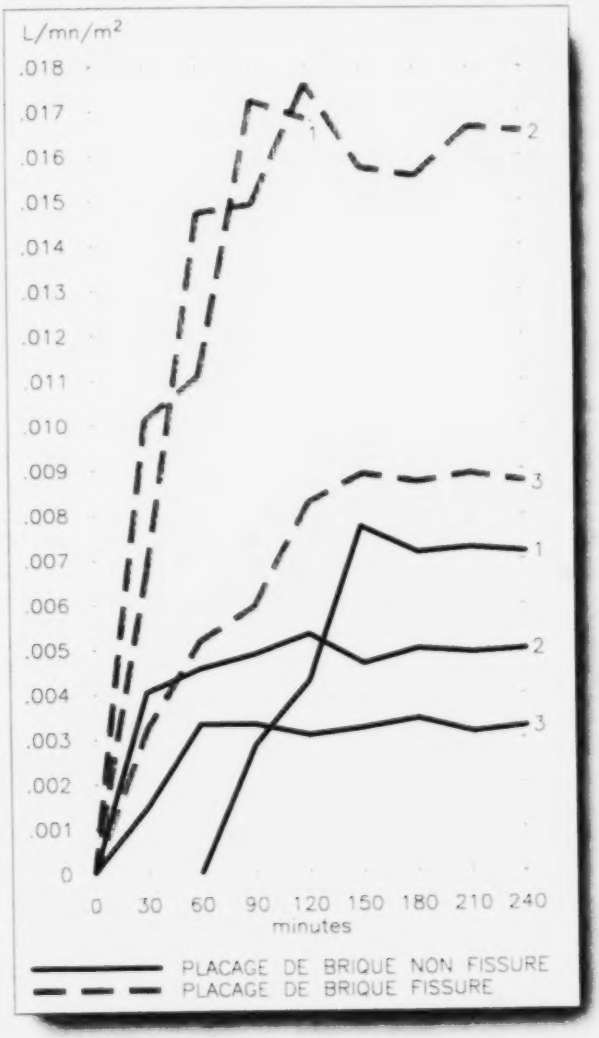


Figure 2-1 : Fuites d'eau dans les cavités de murs ventilés à placage de brique, à une différence de pression de 0,5 kPa.[2]

1 par Gustav O.P. Handegord.
2 Drysdale et Wilson, McMaster Part 5, Fig. 4.5b.

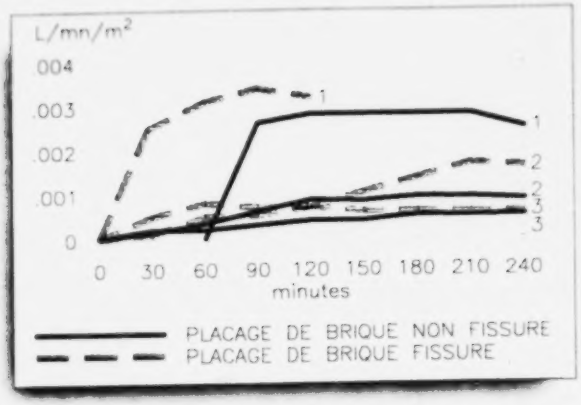


Figure 2-2 : Fuites d'eau dans les cavités de murs écrans pare-pluie à placage de brique, sans différence de pression d'air.[3]

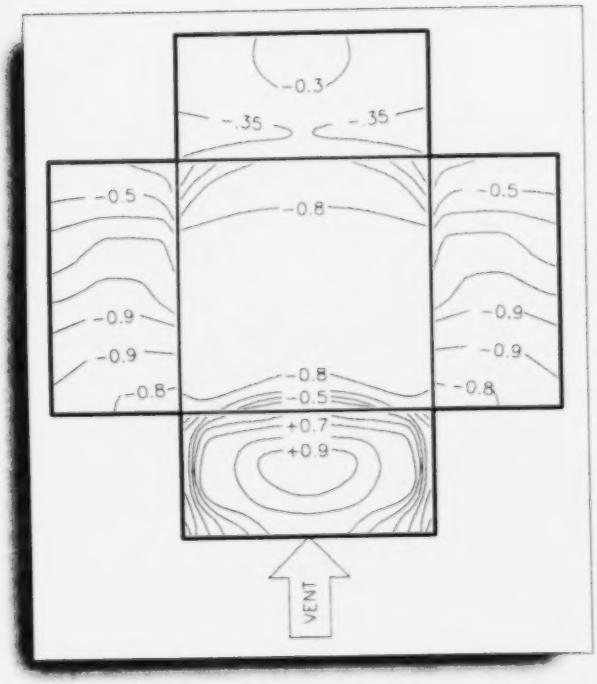


Figure 2-3 : Distribution de la pression du vent soufflant de plein fouet sur les faces du bâtiment.

d'abord permis de s'infiltrer dans de si petits espaces). L'eau s'écoule toujours en empruntant un trajet plus large vers le bas, lorsque le poids de l'eau supplante la tension superficielle, mais l'absence de mouvement d'air ou de pression réduit l'écoulement d'eau, à moins que le passage soit vraiment très important. Le *mur à écran pare-pluie à pression équilibrée* ou, par souci de simplicité, l'*écran pare-pluie*, désigne justement le mur dont la cavité subit l'équilibrage de la pression. La comparaison de la *Figure 2-2* avec la *Figure 2-3*, où les deux graphiques sont tracés suivant la même échelle verticale, illustre la différence entre un *mur ventilé* et un *mur à écran pare-pluie*, tous les autres facteurs étant égaux.

Équilibrage de la pression

L'équilibrage de la pression d'air de la cavité et de l'extérieur en vue de réaliser un écran pare-pluie suppose trois conditions fondamentales :

- infiltration d'air dans la cavité (et exfiltration) par des ouvertures communiquant avec l'extérieur lorsque la pression extérieure change;
- mouvement d'air négligeable entre la cavité et l'intérieur;
- obstacles au mouvement d'air à l'intérieur de la cavité entre les endroits où la pression d'air extérieure diffère.

Lorsque le vent souffle, les angles d'un bâtiment subissent habituellement une pression extérieure différente, quoique la pression extérieure du vent puisse également varier sur la face d'un mur. La *Figure 2-3* montre les pressions moyennes du vent soutenu s'exerçant sur les quatre murs et sur le toit d'un bâtiment de forme simple en ce qui concerne le mouvement perpendiculaire à un mur et la *Figure 2-4* les montre pour un mouvement à un angle de 45°.

Une autre condition s'ajoute du fait que la turbulence entraîne une fluctuation rapide de la pression extérieure du vent qui s'exerce à un point donné. Si le volume de la cavité est trop important ou que la séparation entre l'intérieur et la cavité est trop flexible, l'air ne pourra peut-être pas passer par les petits orifices de ventilation extérieurs suffisamment rapidement pour comprimer (ou décomprimer) l'air de la cavité et compenser le changement de volume de la cavité avant que la pression extérieure change encore.

Qu'il s'agisse d'un mur *ventilé* ou d'un mur à *écran pare-pluie*, une certaine quantité d'eau peut toujours entrer dans la cavité depuis l'extérieur. À cet égard, la séparation de la cavité par rapport à l'intérieur ne diffère d'un mur à *façade étanchéisée* que dans la mesure où elle est exposée à moins d'eau. Elle a l'avantage d'être moins sujette à la dégradation des matériaux sous l'effet des rayons ultraviolets et à des mouvements thermiques extrêmes, mais elle demeure moins accessible pour les besoins d'entretien. Moins il s'infiltrera d'eau, mieux ce sera, si bien qu'il sera probablement plus profitable de consacrer plus d'attention aux détails d'exécution requis pour transformer un mur *ventilé* en mur

[3] Drysdale et Wilson, McMaster Part 5, Fig. 4.5a.
[4] Chien, et autres.

à écran pare-pluie, surtout si le parement admet une certaine quantité d'eau par écoulement gravitaire (placage de brique, par exemple).

Les parties du mur interne les plus susceptibles d'être exposées à l'eau, tels les solins et les appuis du parement, et les endroits où les débris de construction risquent de s'accumuler (permettant ainsi à l'écoulement gravitaire d'enjamber la cavité) méritent quant au choix des matériaux et à l'exécution tout autant d'attention qu'un mur à *façade étanchéisée*.

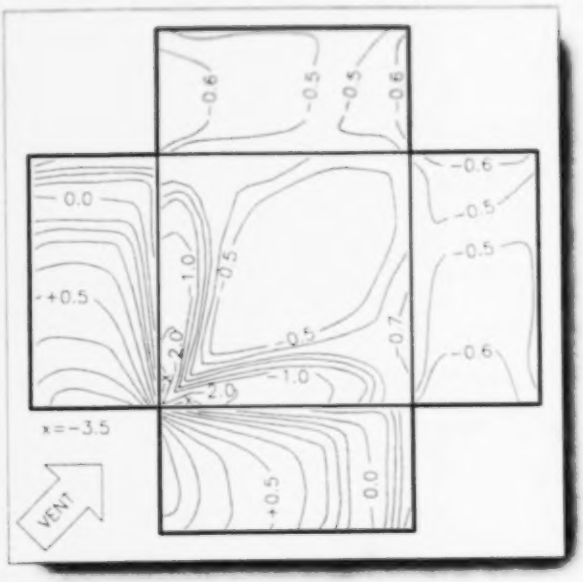


***Figure 2-4** : Distribution de la pression du vent soufflant en diagonale sur les faces du bâtiment.*

MOUVEMENT DE CHALEUR ET PONTS THERMIQUES

Dans la plupart des régions du Canada, l'hiver à l'extérieur s'avère généralement inconfortable au mieux, et avoir devant soi une source de chaleur représente un bien maigre confort si on a toujours froid au dos. Ainsi, nous voulons que les murs conservent une surface relativement chaude, en plus d'assurer une protection contre le vent, la pluie et la neige. Par souci d'économie d'énergie, nous tenons également à ce qu'ils empêchent la chaleur de s'échapper. Les murs non isolés sont en mesure de protéger du vent, de la pluie et de la neige et même de nous permettre de maintenir l'air à la «température ambiante» moyennant un apport suffisant de chaleur, mais ils présentent toujours généralement des surfaces intérieures froides réduisant le confort et attirant la condensation. L'isolation réduit le mouvement de chaleur à travers le mur, élève la température des surfaces intérieures et abaisse la température des parties extérieures du mur. Il est impossible de faire en sorte que toutes les parties du mur résistent pareillement au mouvement de chaleur; les poteaux métalliques, en particulier, sont beaucoup plus conducteurs de chaleur que l'isolant et de ce fait occasionnent la formation de *ponts thermiques*. Il en est de même pour les chants de dalle et les appuis de parement extérieur en saillie. La température de la surface intérieure à l'endroit d'un *pont thermique* dépend non seulement de la conductivité du pont, mais aussi de son emplacement par rapport à l'isolant. Deux ponts situés à des endroits différents, l'un présentant la majorité de sa masse et de sa surface du côté extérieur de l'isolant, l'autre présentant la majeure partie de sa masse et de sa surface du côté intérieur, peuvent bien être conducteurs de la même quantité de chaleur à l'extérieur, mais enregistreront une température différente de leur surface intérieure respective. Le pont principalement situé du côté extérieur sera distinctement froid, alors que le pont principalement situé du côté intérieur pourra être légèrement plus froid que les surfaces avoisinates des parties moins conductrices. La situation inverse prévaut à l'extérieur. Étant donné que nous devons immanquablement composer avec quelques ponts thermiques, il est préférable qu'ils soient chauds plutôt que froids. Les éléments très conducteurs, s'ils ne peuvent pas être évités, doivent être disposés de manière à présenter la majeure partie de leur masse et de leur surface du côté intérieur de l'isolant. Il est possible de concevoir des ponts thermiques à l'aide de modèles numériques bidimensionnels ou tridimensionnels en vue de prédire le mouvement de chaleur et les températures superficielles.[5]

5 Blomberg, *HEAT2 et HEAT 3*, ou *DOE HEATING 7.2*.

FUITES D'AIR, DIFFUSION DE VAPEUR ET CONDENSATION

L'isolation thermique et le resserrement de l'étanchéité des murs ont permis de constater la fréquence des problèmes de condensation dissimulée. La teneur absolue en vapeur d'eau de l'air, à un degré d'humidité relative et à un niveau de confort donnés, est de beaucoup supérieure dans l'air ambiant chaud que dans l'environnement hivernal. Si vous déplacez de l'air intérieur à l'extérieur dans un contenant étanche, en se refroidissant l'humidité excédentaire se condense sur la paroi intérieure du contenant. La condensation cesse lorsque la teneur en vapeur d'eau de l'air du contenant correspond à un degré d'humidité relative de 100 % de la température extérieure et que l'air du contenant s'est refroidi complètement. En laissant le même air s'échapper par un orifice du mur jusqu'à ce qu'il atteigne une surface plus froide que sa température du point de rosée (température à laquelle la teneur absolue en vapeur d'eau correspond à une humidité relative de 100 %), on constate le même phénomène, mais à un endroit du mur que l'on ne voit pas. Là où il se forme des *ponts thermiques* froids, de la condensation peut même se former sur des surfaces intérieures et dans des endroits dissimulés à l'intérieur de la cavité murale, sauf qu'elle se produira d'abord sur les surfaces les plus froides. Par contre, les *ponts thermiques* chauds seront protégés de la condensation lorsqu'ils traverseront des parties froides du mur, mais non les surfaces voisines moins conductrices.

L'air qui traverse le mur assez rapidement risque d'aboutir complètement à l'extérieur avant de perdre suffisamment de chaleur pour qu'il se crée de la condensation, mais lorsque l'étanchéité à l'air du mur est recherchée délibérément, le mouvement se fait lentement de sorte que l'air a le temps de se refroidir et de se condenser tout à fait avant de fuir à l'extérieur. La condensation qui se forme sur des matériaux poreux et résistants aux dommages causés par l'eau et la glace ne donne lieu à aucun méfait, pourvu que ces derniers s'assèchent avant la venue de l'hiver prochain et que la quantité totale de condensation soit inférieure à ce que requiert la saturation (et le début des dommages). La condensation présente sur des surfaces n'absorbant pas d'humidité est inoffensive si l'eau qui en résulte est évacuée à l'extérieur, sans revenir à l'intérieur. Il y a toutefois des exceptions. Les matériaux susceptibles d'être endommagés peuvent devenir humides. La chute de glaçons peut constituer un problème, même si le mur ne subit aucun dommage en raison de la fonte de la glace ou de l'évacuation de la condensation. Certains matériaux poreux n'attirent pas la condensation, même lorsque le mouvement est lent et que la température des surfaces est inférieure au point de rosée, pour autant qu'il ne soit pas retardé par des matériaux moins perméables disposés du côté froid.

La condensation cause souvent du dommage. Sa présence dans des isolants poreux en réduit la résistance thermique, si bien que dans des cas extrêmes l'isolant devient lentement une masse de glace armée de fibres, gelée depuis l'extérieur. La brique, l'ossature d'acier et les plaques de plâtre sont tous des matériaux qui risquent d'être endommagés à différents degrés par la condensation. La brique peut, mieux que bien d'autres matériaux, emmagasiner de l'humidité sans en subir de méfaits, mais une forte condensation cause de l'épaufrure. L'évaporation subséquente laisse des dépôts de sels solubles sur la face ou les pores du matériau. Les plaques de plâtre sont en mesure d'absorber de fortes quantités d'eau, mais non sans subir des dommages permanents. Le revêtement mural intermédiaire en particulier se gonfle souvent et devient fragile dans les murs où la condensation est présente. À l'endroit des surfaces protectrices endommagées, des bavures et des copeaux autour des dispositifs de fixation, des dispositifs de fixation non protégés et des chants taillés, la tôle d'acier peut commencer à rouiller en présence de faibles quantités de condensation. La galvanisation protège les zones endommagées en sacrifiant le

zinc autour de l'acier exposé, mais l'oxydation du zinc survient plus rapidement à ces endroits, de sorte que l'action protectrice de la galvanisation ne dure que tant qu'il y a du zinc. Bien que le rapport soit difficile à quantifier, la combinaison de l'épaisseur de la galvanisation et de la durée du mouillage détermine sa durée utile lorsque se manifeste la corrosion.

Lorsque la condensation fut d'abord perçue comme un problème, la diffusion de vapeur par les matériaux, poussée par la différence de pression partielle de vapeur d'eau entre les milieux intérieur et extérieur, a d'abord été pointée du doigt. Cette explication, quoique très intéressante, ne rend compte que d'une faible portion de la condensation observée. La diffusion de vapeur a effectivement lieu, et occasionne la condensation, mais les fuites d'air en produisent généralement beaucoup plus, de sorte qu'elles expliquent mieux les quantités de condensation observées. Même dans les murs réalisés avec soin par des gens connaissant bien les possibilités et fortement motivés par le désir de contrer les fuites d'air, la diffusion de vapeur d'eau risque d'entraîner plus de condensation que de fuites d'air.[6]

Il a été proposé d'adopter différents degrés d'étanchéité à l'air. Le CNRC a proposé 0,15, 0,10 et 0,05 L/s/m² à une différence de pression de 75 Pa selon un milieu faiblement, moyennement ou fortement humide.[7] Le revêtement intermédiaire et le parement de nombreux bâtiments sont en mesure de satisfaire à ces exigences, à la condition qu'ils soient soigneusement ajustés.[8] Par contre, les mesures prélevées dans des bâtiments réels ont enregistré des taux variant entre 0,5 et 3,0 L/s/m² à la même pression.[9] Des fuites d'air constantes de 1,0 L/s/m², commençant à 22 °C et à un degré d'humidité relative de 30 %, transporteraient 42 L/s/m² d'eau dans le mur en l'espace de 3 mois. Il est peu probable qu'une telle quantité s'y accumule, puisque la différence de pression est généralement inférieure à 75 Pa, la pression est inconstante et le temps chaud favorise l'assèchement. On a toutefois estimé que la pression de tirage s'exerçant sur la hauteur d'un étage et agissant sur un taux de fuite de 0,01 % pourrait entraîner une accumulation et une évaporation ultérieure de 3 kg/m² d'humidité (couche d'eau de 3 mm) pendant un hiver, à partir des données météorologiques horaires pour Montréal.[10]

Lorsque les matériaux du mur sont susceptibles d'être endommagés par la condensation, il existe deux façons d'assurer leur protection : limiter les fuites d'air et la diffusion de vapeur, ou bien maintenir les matériaux au-dessus du point de rosée. Certains matériaux peuvent absorber de l'humidité jusqu'à un certain point, sans subir de dommages. En pareils cas, une troisième option consiste à limiter l'accumulation de condensation à une quantité qui peut être absorbée et évaporée en toute sécurité au cours de l'été. Prévenir toute forme de condensation en limitant les fuites d'air s'avère très difficile en laboratoire, à plus forte raison sur un chantier de construction. La solution pratique, du moins pour l'ossature d'acier, consiste à maintenir les matériaux chauds. En ce qui concerne les plaques de plâtre, on peut tolérer une certaine quantité de condensation, peut-être une accumulation représentant autant que 5 ou 10 % par poids au cours de tout l'hiver, infime quantité comparativement à l'humidité que peuvent transporter de petites fuites d'air.

Un pare-air capable de résister à toutes les pressions d'air auquel il est soumis et assez étanche pour assurer l'équilibrage approprié de la pression de la cavité d'un *écran pare-pluie*, est déjà assez difficile

---

6 Drysdale et Kluge, McMaster Part 3.
7 *Regard 86 sur la science du bâtiment.*
8 Bumbaru et autres, *Air Permeance of Building Materials*, ainsi que Brown et Poirier, *Testing of Air Barrier Systems for Wood Frame Walls.*
9 Shaw et Tamura, *Studies on Exterior Wall Air Tightness and Air Infiltration of Tall Buildings.*
10 TROW Inc., *Criteria for The Air Leakage Characteristics of Building Envelopes.*

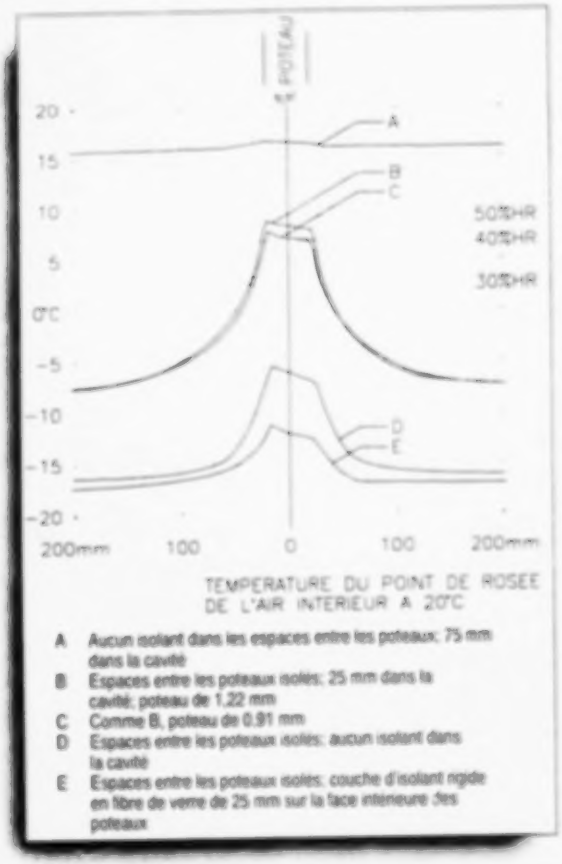


Figure 2-5 : Températures de la face intérieure du revêtement intermédiaire, à une température extérieure de -20°C et une température intérieure de 20°C, à des distances horizontales de 0 à 300 mm de l'axe des poteaux.[11]

à réaliser. Néanmoins, il ne serait pas suffisamment étanche pour prévenir la condensation sur l'arrière des plaques de plâtre extérieures exposées à une cavité non isolée derrière le placage, ou sur l'ossature d'acier comblant toute l'épaisseur de l'isolant. La *Figure 2-5* indique la température et le point de rosée enregistrés selon différents degrés d'humidité intérieure, de la face arrière du revêtement en plaques de plâtre de murs à ossature d'acier isolés de diverses façons. Le sommet au centre du graphique montre que le poteau d'acier exerce l'effet d'un pont thermique chaud; la condensation risque moins de se produire sur le poteau que sur le revêtement intermédiaire entre les poteaux, pour autant que les poteaux soient protégés par l'isolant du côté extérieur. Le risque de condensation dans les espaces entre les poteaux est inexistant dans un seul cas, soit lorsqu'il y a 75 mm d'isolant dans la cavité, mais aucun isolant dans les espaces entre les poteaux. Les espaces entre les poteaux étant isolés, 25 mm d'isolant dans la cavité suffisent à prévenir la condensation sur les poteaux, mais non à la surface du revêtement intermédiaire, dans les conditions d'essai.

IMPRÉCISION ET VARIATION DE POSITION

Un dernier aspect qui aboutit parfois à des difficultés inattendues en service concerne la coordination des dimensions et tolérances parmi les éléments du bâtiment. Par exemple, les efforts voulus pour mettre en place les éléments de béton à l'endroit prévu entraînent des variations visuellement inacceptables lorsqu'elles se reflètent dans la finition des murs extérieurs. À moins d'être bien conçue et de tenir compte des variations permissibles, l'ossature murale en acier et les raccordements au parement extérieur peuvent finir par combler l'écart selon des moyens compromettant leur tenue en service. Les détails d'exécution devraient toujours valoir lorsque les éléments se trouvent à la limite permise par rapport à la position escomptée.

Toute la question se complique en raison de la façon dont l'industrie du bâtiment traite généralement les tolérances. En effet, elle a rarement recours à des méthodes statistiques et dispose de peu d'information quant aux écarts qu'on trouve dans les dimensions de bâtiments véritables. Les normes canadiennes visant la construction d'ouvrages en béton, en acier et en maçonnerie renvoient toutes à des tolérances, mais seule la norme concernant le béton fait appel à des concepts statistiques pour aborder la question.

Béton

La norme CAN/CSA-A23.1-94 régit les tolérances à l'égard des ouvrages en béton. Dans une annexe, elle traite brièvement des tolérances par rapport à la probabilité et à la répartition de la densité de probabilité. Elle indique que la répartition normale décrit probablement la répartition des erreurs de dimensions des ouvrages de béton dans la plupart des cas, et que les tolérances doivent être exprimées sous forme de dimensions voulues, plus ou moins un nombre suffisant pour assurer le respect à 90 % des limites de tolérance (d'où un taux de rejet de 10 %, en moyenne, si l'écart est conforme à ce qui est attendu). Pour spécifier des

11 Drysdale et Suter, *Construction des murs extérieurs des bâtiments de grande hauteur*.

tolérances suivant une gradation d'égale difficulté d'exécution, les plages suivantes sont proposées : ±3, ±5, ±8, ±12, ±20, ±30 et ±50 mm.

La norme CSA A23.1 précise les tolérances suivantes quant à l'alignement des éléments par rapport à l'endroit voulu :

Dimension, m	Tolérance, mm
0 - 2,4	±5
2,4 - 4,8	±8
4,8 - 9,6	±12
9,6 - 14,4	±20
14,4 - 19,2	±30
19,2 - 57,6	±50
au-dessus de 57,6	selon les indications fournies

Voici les tolérances établies à l'égard de l'épaisseur des colonnes et des murs et du décalage d'un étage à l'autre :

Dimension, m	Tolérance, mm
0 - 0,3	±8
0,3 - 1,0	±12
1,0 et plus	±20

Les surfaces verticales et les arêtes doivent être d'aplomb dans un rapport de 1:400, jusqu'à concurrence d'un écart maximal de ±40 mm. La pente des surfaces inclinées doit être conforme aux mêmes limites.

Les planchers ordinaires doivent être de niveau, sur 3 m dans quelque direction que ce soit, à ±12 mm près, mais une tolérance de ±8, ±5 ou ±3 mm peut être spécifiée en option. Il s'agit là d'une tolérance qui a été abondamment étudiée. Le coût de construction augmente rapidement dès qu'on tente d'améliorer la tolérance de ±12 mm.

Acier de construction

La norme CAN/CSA S16.1-M89, *Règles de calcul aux états limites des charpentes en acier*, définit les tolérances visant les ossatures de bâtiment en acier. Les colonnes extérieures doivent être d'aplomb dans un rapport de 1:1 000, jusqu'à un total cumulatif pouvant atteindre - 25 ou +50 mm sur les 20 premiers étages, et une tolérance supplémentaire de 2 mm par étage, jusqu'à un maximum de -50 ou de +75 mm pour les bâtiments de plus grande hauteur. Les éléments horizontaux doivent être alignés en plan dans un rapport de 1:1 000, sauf qu'un écart de ±3 mm est toujours acceptable, peu importe la longueur de l'élément et que ±6 mm est le maximum permis en tout cas. Les éléments horizontaux se trouvent à la bonne élévation s'ils accusent un écart d'en deçà de ±10 mm et si leur pente n'est pas supérieure à 1:500. Le cas échéant, les raccordements réglables doivent être de niveau en deçà d'un rapport de 1:1 000. Les extrémités d'about doivent s'aligner en deçà de ±3 mm, ou, si elles sont réglables, en deçà de ±2 mm.

Maçonnerie

La norme CAN3-A371-94, *Maçonnerie des bâtiments*, limite les erreurs de mise en place. Elle requiert de soumettre les ouvrages en maçonnerie aux tolérances suivantes, sauf indication contraire. Les éditions précédentes de la norme proposaient des tolérances, sans toutefois les rendre obligatoires.

Alignement vertical :
±20 mm pour la surface du mur
±13 mm pour l'alignement des joints verticaux
Alignement latéral :
±13 mm pour les éléments verticaux
Alignement de niveau :
±13 mm pour les joints d'assise et le dessus exposé des murs
±25 mm pour les éléments non exposés
±13 mm pour le dessus du mur servant de surface d'appui
±20 mm pour le dessus du mur ne servant pas de surface d'appui
Dimensions des éléments transversaux :
±13 mm, -6 mm
Épaisseur des joints :
±3 mm pour les joints d'assise et joints verticaux nominaux de 10 mm
de 6 à 20 mm pour le joint d'assise du rang de départ
Alignement relatif :
±6 mm sur une distance de 3 000 mm manquant un changement de position par rapport au plan de référence

Expérience sur le terrain

Les tolérances spécifiées dans les codes et devis correspondants sont-elles véritablement atteintes sur le terrain? L'expérience indique qu'elles sont dépassées assez fréquemment.[12] Les tolérances précisées sont déjà suffisamment difficiles à respecter; on a observé un cas où la dimension réelle de la cavité murale variait de 0 à 75 mm, comparativement aux 50 mm indiqués sur les plans.[13]

Keller signale des cavités étant de 17 mm plus petites et de 20 mm plus grandes que les dimensions indiquées. La plage entre la dimension la plus petite et la plus grande dans un seul bâtiment s'établissait en moyenne à 19 mm. La plage n'était jamais inférieure à 10 mm (constatée dans deux bâtiments) et dans le pire bâtiment elle était de 37 mm.[14]

12 L'expérience a permis de constater des cas où la tolérance de planéité du plancher a été dépassée par un facteur de 10 et où une colonne (dans le pire cas sur les 100 mesurées) manquait d'aplomb par 75 mm sur 2 440 mm.
13 J. Visnovyk, Building Envelope Engineering.
14 Keller, H., *Field Investigations of Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems*.

ENQUÊTE AUPRÈS DES UTILISATEURS ET OBSERVATIONS SUR LE TERRAIN[1]

En 1986, Keller étudiait 8 bâtiments dans 4 villes échelonnées entre St.-John's et Calgary et transmettait un questionnaire à des gens qui, comptait-il, oeuvraient dans le domaine de la construction de bâtiments à ossature d'acier revêtue d'un placage de brique. Ainsi, 111 architectes et ingénieurs, 23 entrepreneurs en maçonnerie, 16 entrepreneurs en ossature d'acier et 21 agents du bâtiment y ont donné suite. Parmi les répondants, 76 % possédaient une expérience quelconque de la construction à ossature d'acier avec placage de brique. La plupart provenaient du sud de l'Ontario ou du Québec. Dans l'ensemble, les répondants indiquaient avoir participé d'une manière quelconque à l'exécution de plus de 1 000 bâtiments, 66 % des bâtiments ayant 4 étages ou moins, 52 % une ossature d'acier et 44 % une structure en béton armé.

La conception de l'ossature d'acier relevait généralement de l'architecte (dans 65 % des cas) ou de l'ingénieur retenu comme principal consultant (28 %) qui se fiait surtout à la documentation du fabricant ou dans une moindre mesure aux normes de la CSA, au CNB, aux rapports de la SCHL ou à d'autres sources semblables. Seulement 8 % de tous les concepteurs s'en remettaient à l'opinion d'un ingénieur en structure.

Dans quelle mesure les dessins d'atelier étaient-ils requis? Jamais (33 %), rarement (28 %), parfois (16 %), souvent (7 %), et, dans certains cas, toujours (16 %). L'ossature était plus souvent fixée mécaniquement que soudée (74 % contre 6 %); dans 95 % des cas, elle se fabriquait sur place. Un raccordement coulissant au sommet était prévu dans 68 % des cas. Les dispositifs actionnés par une charge explosive servaient à assujettir l'ossature à la structure 70 % du temps. Les espaces entre les poteaux étaient plus souvent isolés que non isolés (64 %). Lorsqu'on en faisait usage, l'isolant rigide était généralement disposé, quoique pas toujours, du côté extérieur de l'ossature. Le pare-vapeur se trouvait presque toujours mis en oeuvre sur la face intérieure de l'ossature (89 %) et était constitué d'une membrane de polyéthylène (84 %).

La plupart des concepteurs s'étaient heurtés sur le terrain à des difficultés s'apparentant le plus souvent aux infiltrations d'air; 83 % estimaient qu'ils ne disposaient pas d'information suffisante et que les honoraires du concepteur n'autorisaient pas une conception appropriée. Les entrepreneurs croyaient que les documents de construction fournissaient trop peu d'orientation et que la responsabilité de la conception, spécialement des détails d'exécution et des raccordements, leur était trop souvent confiée.

Les systèmes à ossature d'acier et placage de brique avaient été en usage dans les secteurs échantillonnés en moyenne pendant environ 8 ans.

Lors de l'étude sur place qui a suivi l'enquête, Keller a procédé à un examen visuel général du placage, à des relevés thermographiques et à des inspections visuelles des espaces entre les poteaux et de la cavité derrière le placage, à partir de trous percés depuis l'intérieur.[2] L'examen visuel et le relevé thermographique effectués depuis l'extérieur ne révélaient rien qui n'aurait pas pu être observé dans tout bâtiment à placage de maçonnerie. Lorsque des problèmes mettaient en cause l'ossature, les attaches ou les fuites d'air, ces méthodes n'en révélaient pas l'endroit.

---

1 Keller, H., *Brick Veneer/Steel Stud Wall Design and Construction Practices in Canada: Results of a 1986 Survey*, ainsi que Keller, Trestain et Maurenbrecher, *The Durability of Steel Components in Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems*.

2 Keller, *Field Investigation of Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems*.

Il a découvert que l'ossature d'acier, après 4 à 11 ans de service, était généralement dans un état satisfaisant, affichant peu de corrosion, mais il a également noté les déficiences types suivantes :

- aucune entretoise;
- fixation insuffisante des poteaux;
- aucune marge prévue pour le mouvement vertical;
- épaisseur insuffisante de la tôle d'acier;
- protection insuffisante contre la corrosion;
- vis à métal noires utilisées en milieu corrosif.

Les défauts observés dans le placage de brique pouvaient généralement se retrouver dans d'autres murs de fond couramment utilisés :

- épaufrures sous l'effet de la compression vis-à-vis les cornières;
- épaufrures imputables au gel;
- forte quantité de chlorures et d'efflorescence;
- attaches corrodées ou rendues inefficaces autrement;
- petites cavités (de 25 mm ou moins) rendues inefficaces par la présence de débris de construction.

MURS EN SERVICE

Keller signale que la corrosion annihile la tenue en service de l'ossature en l'espace de 5 ans dans certains cas, mais qu'il faut généralement 10 ans ou plus. Les attaches de la brique ne s'en tirent pas à si bon compte, certaines étant déjà en très piètre état, peu ayant une durée utile restante évaluée à plus de 5 ans.

Même si le choix des bâtiments a été fait sans que l'on connaisse au préalable leur état respectif, au moins une autorité qui a vu certains des bâtiments les considère tous en général comme des exemples flagrants de négligence en matière de conception et juge les estimations de Keller concernant la durée utile restante «trop suspectes pour être citées».[3] Les estimations touchant la durée utile étaient subjectives et non corroborées par une méthode d'évaluation quantitative quelconque. Par contre, dans 5 des 8 bâtiments, le rail inférieur était considérablement rouillé et de la rouille apparaissait aussi sur les portions avoisinantes des poteaux. Quoique le rapport n'en fasse pas état, il a été signalé que dans le pire cas de corrosion des poteaux les 50 mm du bas des poteaux étaient complètement rongés par la rouille.[4]

ÉTUDES EN LABORATOIRE

Essais de résistance et de rigidité des composants et des raccordements[5]

Pour compléter les observations de l'enquête effectuée sur le terrain, la SCHL a fait mener une série d'études en laboratoire. Dans le cadre de la première étude, Drysdale et Breton se sont penchés sur le comportement structural isolé des composants d'ossature d'acier et des raccordements types. Des raccordements, des panneaux muraux de pleines dimensions avec et sans parement, ainsi que des poteaux individuels ont été testés. Un programme d'éléments finis a été mis au point dans le but d'étudier les effets combinés de la torsion et de la flexion des poteaux.

3 T.W.J. Trestain.
4 J. Rousseau, Séminaire ABEC/SCHL/CANMET lors de la conférence IDEAS, février 94, Calgary.
5 Drysdale et Breton, McMaster Part 1.

Les essais portant sur le raccordement poteau-rail ont montré que pour un assemblage type, où le poteau est emboîté dans le rail et fixé par les deux ailes, le mode de défaillance type correspond au flambage de l'âme du poteau. Les charges transmises lors des expériences dépassaient les limites de sécurité des charges sûres déterminées par les méthodes de conception courantes. Les déformations entraînant la défaillance étaient généralement confinées aux extrémités des poteaux sur une distance inférieure à leur largeur.

Revêtant plus de signification pour la conception d'autres parties d'un mur, les raccordements de ce type ont affiché, avant leur défaillance, des déplacements assez importants, comparativement au déplacement à mi-portée d'un poteau assorti d'une flèche de calcul de L/720. Le taux de déplacement variait considérablement selon le mode de raccordement des ailes et en fonction de l'espace entre l'extrémité du poteau et l'âme du rail.

En plus de l'assemblage des ailes par vis, plusieurs autres moyens ont été testés :

- rail en caisson (poteau maintenu de façon à en prévenir la torsion, sans pour autant être assujetti);
- rail emboîté (ailes du poteau vissées au rail interne avec un jeu minimal à l'extrémité, 12 mm entre l'âme des deux rails, rail externe non fixé au rail interne);
- cornière de fixation, assujettissant l'âme du poteau directement à l'appui, le dispositif de fixation comportant des fentes favorisant un mouvement de 12 mm;
- dispositif de fixation flexible, assujetti à l'âme du poteau et à l'appui, favorisant aussi 12 mm de mouvement.

Les raccordements, qui reliaient l'âme des poteaux directement aux appuis au moyen d'une cornière de fixation coulissante, ou d'un dispositif de liaison flexible, se révélaient généralement très rigides, permettant relativement peu de déplacement avant la défaillance. Ils avaient aussi tendance à défaillir soudainement, en cisaillant les attaches ou en les tirant des appuis. Les charges au moment de la défaillance dépassaient également les limites de sécurité des charges de calcul de ces raccordements.

RECOMMANDATIONS

- Vérifier que les règles de conception tiennent compte des effets de torsion secondaires et du flambage de l'âme.[6]
- Utiliser des entretoises métalliques, disposées à entraxe maximal de 1 220 mm. Pour des poteaux de plus fort calibre, introduire par les perforations pratiquées dans l'âme des poteaux des entretoises qui seront maintenues en place au moyen de cornières de fixation.
- Assurer la continuité des entretoises et les ancrer à intervalles réguliers.
- Si des attaches sont fixées aux ailes des poteaux, tenir compte de la réduction de capacité des poteaux en résultant. Éviter de disposer les attaches où se trouvent les perforations d'âme.
- Si les perforations se trouvent là où il n'y a pas d'entretoise, tenir compte de la réduction de capacité des poteaux en résultant. Le meilleur endroit pour pratiquer les perforations de poteaux non contreventés se situe entre 300 et 400 mm de l'une ou l'autre extrémité des poteaux.
- Prendre en considération l'effet de déplacement vis-à-vis les appuis du parement et des matériaux de finition, en plus d'évaluer la capacité ultime du raccordement des poteaux à la structure.
- Lorsque le parement assure le contreventement, concevoir spécifiquement le parement et le mode de fixation à cette fin et faire usage d'un matériau plus durable que les plaques de plâtre.[8]

6 Vérifier, le cas échéant, que les tables de calcul tiennent compte de ces effets.

7 Les profilés d'entretoisement encochés, fixés aux deux faces des poteaux, ont également été testés. Une autre recherche indique que les entretoises à bande plate peuvent s'avérer tout aussi efficaces. Les assemblages sans contreventement se sont très mal comportés comparativement à ceux qui comportaient un type quelconque d'entretoise.

8 Si les entretoises d'acier sont fixées au poteaux, les plaques de plâtre disposées du côté intérieur peuvent en toute confiance prévenir le mouvement de translation des entretoises dans le plan du mur.

Avant le début de la défaillance, le rapport de déplacement des charges était essentiellement linéaire pour tous les raccordements. Le Tableau 3-1[9] montre le ratio de déplacement des charges constaté à l'égard des raccordements testés :

Table 3-1: Rigidité du raccordement des poteaux à la structure

Dimension du poteau, mm	Rail mm	Jeu mm	Raccordement	Charge/F N/mm
90 x 0,91	0,91	≤ 2	2 vis	555
	1,90	≤ 2	2 vis	1 088
1,22 ext. 0,91 int.		12	2 vis	517
	0,91	12	2 vis	247
	0,91	12	1 vis (t)	160
90 x 1,22	1,22	≤ 2	2 vis	964
	1,22	≤ 2	1 vis (t)	698
	1,22	≤ 2	soudure	2 142
	1,22	≤ 2	soudure (r)	1 844
	1,22	12	2 vis -	479
	1,22	12	liaision d'âme	1 825
	1,22	12	liaison flexible	2 763
	1,22	12	poteau calé	388
150 x 0,91	0,91	≤ 2	2 vis	623
0,91 près extrémité		≤ 2	2 vis	587
	0,91	≤ 2	1 vis (t)	535
	1,90	≤ 2	2 vis	764
	0,91	12	2 vis	235
1,22 ext. 0,91 int.		12	2 vis	652
150 x 1,22	1,22	≤ 2	2 vis	1014
	1,22	≤ 2	1 vis (t)	781
	1,22	≤ 2	soudure	4165
	1,22	12	2 vis	488

(t) = vis du côté de la tension
(r) = même détail, direction de la charge inversée

Les panneaux muraux soumis aux essais de flexion, sans parement, comportaient des profilés d'entretoisement intérieurs en acier. La défaillance s'est toujours produite vis-à-vis une perforation, par torsion. La défaillance par torsion se produisait généralement à l'endroit d'une des perforations où il n'y avait pas de contreventement (les tables de calcul de certains fabricants ne tiennent pas compte des perforations ou des effets combinés de torsion et de flexion). Les poteaux employés étaient de catégorie commerciale présentant des perforations espacées à extraxe de 650 mm. Les portées ont été mises à l'essai avec une rangée de contreventements métalliques disposés à mi-portée dans certains cas, et avec 2 rangées de contreventements. La charge ultime était fortement influencée par l'assemblage du contreventement aux poteaux. Les cornières de fixation maintenues par 4 vis, soit 2 dans le profilé de contreventement et 2 dans l'âme du poteau, s'avéraient les dispositifs les plus

[9] Drysdale et Breton, McMaster Part 1, pp 30-33.

efficaces lorsqu'on faisait usage de vis. Les cornières de fixation soudées se révélaient tout aussi efficaces. Les moments de flexion ultimes étaient généralement inférieurs aux moments admissibles calculés selon la théorie de la simple poutre et le module de flexion de la section perforée (vis-à-vis une perforation). Les murs contreventés par le parement ont également été testés. Les conditions d'essais faisaient appel à des plaques de plâtre fixées selon un espacement standard et un espacement rapproché, ainsi qu'à un revêtement intermédiaire en plaques de plâtre mouillées. Le ratio du moment maximal véritable supporté avant la défaillance jusqu'au moment du fléchissement prédit suivant la théorie de la simple flexion à partir des propriétés de la section perforée variait entre 0,57 et 1,03 parmi la plage complète des conditions d'essais. Il s'échelonnait de 0,81 à 0,98 pour les murs sans parement mais pourvus de contreventements métalliques.[10]

Le rapport sonde aussi les modèles théoriques de l'effet combiné de torsion et de flexion, et de l'action combinée du placage de brique et du mur de fond en acier.

Essais de perméabilité à l'eau du placage de maçonnerie fissuré[11]

Une première série d'essais d'étanchéité effectués sur de petits murs de maçonnerie tendait à évaluer l'effet de la fissuration isolément d'autres variables. Les résultats se sont révélés diffus et en l'occurrence pas très utiles pour prédire la performance des murs. Ils indiquent cependant que le taux de fuite à travers la maçonnerie fissurée décroît au fil du temps, sous l'effet d'une pression constante.

Essais de murs de dimensions restreintes soumis à des différences de température, de pression d'air et de pression de vapeur[12]

Cinq spécimens de murs à ossature d'acier et placage de brique ont été testés. Les pressions d'air auxquelles ils étaient soumis ne visaient pas à éprouver la solidité structurale des murs (puisque les échantillons ne mesuraient que 830 x 1 240 mm), mais bien à établir les forces entraînant les fuites d'air et la pénétration de la pluie. Ils ont permis de découvrir que des défauts de construction en apparence petits risquent de donner lieu à des problèmes de tenue en service dans certains murs, alors que d'autres murs s'avèrent assez tolérants aux défauts.

Voici la composition des murs testés :

Mur 1

- plaques de plâtre de 12,7 mm, pontées et peintes;
- pare-vapeur en polyéthylène de 0,15 mm;
- poteaux de 92 mm et rails de 0,91 mm en acier (poteaux à entraxe de 406 mm);
- espaces entre les poteaux remplis d'isolant en matelas de fibre de verre RSI 2,1;
- revêtement intermédiaire en plaques de plâtre de 12,7 mm;
- cavité ventilée de 25 mm.

Mur 2

- attaches de la brique;
- placage de brique;
- plaques de plâtre de 12,7 mm sans revêtement de finition;
- pare-vapeur en polyéthylène de 0,15 mm;

10 Drysdale et Breton, McMaster Part 1, tableaux 4.3, 4.5, et 4.6.
11 Drysdale, Kluge et Roscoe, McMaster Part 2.
12 Drysdale et Klauge, McMaster Part 3.

- poteaux de 92 mm et rails de 0,91 mm en acier (poteaux à entraxe de 406 mm);
- espaces entre les poteaux remplis d'isolant en matelas de fibre de verre RSI 2,1;
- revêtement intermédiaire en polystyrène de 25 mm, RSI 0,88;
- cavité ventilée de 25 mm;
- attaches de la brique;
- placage de brique.

Mur 3

- plaques de plâtre de 12,7 mm, pontées et peintes;
- profilés oméga en acier de 25 mm;
- pare-vapeur en polyéthylène de 0,15 mm;
- revêtement intermédiaire en plaques de plâtre de 12,7 mm, joints calfeutrés;
- poteaux d'acier de 1,21 mm d'épaisseur, disposés dos à dos;
- isolant en fibre de verre RSI 2,2;
- embouts de polystyrène de 38 mm sur les ailes des poteaux (profondeur réduite de 13 mm pour s'ajuster sur les poteaux et retenir l'isolant en fibre de verre);
- cavité de 50 mm (de la face des poteaux);
- attaches de la brique;
- placage de brique.

La corrosion des vis fixant les plaques de plâtre a été constatée lors des essais sur les murs dénués d'isolant extérieur après une exposition relativement courte. Les discussions ont permis de noter que les vis standards pour plaques de plâtre ont un fini huileux noir sans revêtement anticorrosion. Pendant l'assemblage, la lame du tournevis mécanique magnétise les vis de sorte que lors de l'enfoncement des vis les fines particules se détachant des poteaux demeurent sur les vis. Ainsi, les vis bénéficiant d'un revêtement de protection minimal et les ébarbures des poteaux aux points de pénétration sont susceptibles d'offrir énormément de possibilités de corrosion en milieu humide.

Le deuxième mur, comportant 25 mm d'isolant de polystyrène extérieur, a été testé avec une imperfection délibérée équivalant à une fissure de 0,3 x 12 mm tous les m². Le degré d'humidité relative intérieure variait entre 35 et 40 %, alors que la température intérieure était de 21°C et la température extérieure de -17°C. Une différence de pression de 75 Pa a entraîné des fuites de 0,011 L/s/m². Après 13 jours, le mur n'affichait nulle part de signe quelconque d'accumulation d'humidité. Lorsque l'humidité relative fluctuait entre 50 et 55 %, de la condensation se formait sur la paroi intérieure de l'isolant de polystyrène, mais sur aucun composant en acier.

Drysdale et Kluge ont observé les points suivants :

- même de petites ouvertures dans le pare-air donnent lieu à des fuites d'air considérables;
- le pare-air voulu n'est pas nécessairement le seul élément du mur à résister au mouvement d'air;
- les plaques de plâtre non peintes ne se révèlent pas étanches, mais l'application de deux couches de peinture au latex suffit;
- malgré le soin méticuleux pris dans le laboratoire, des fuites d'air imprévues se manifestent; elles doivent donc être escomptées sur un chantier de construction, de sorte qu'il faut disposer de moyens pour les déceler et y remédier;
- le pare-air disposé du côté extérieur peut faire fonction de pare-vapeur et emprisonner la condensation entre deux pare-vapeur;

- les trajets qu'empruntent les fuites d'air autour de l'isolant risquent de court-circuiter l'isolant et d'en réduire l'efficacité;
- l'isolation de la cavité de l'ossature d'acier des murs à placage de brique suffit à maintenir leur température au-dessus du point de rosée;
- l'effet des ponts thermiques s'étend de 50 à 100 mm de chaque côté des poteaux;
- les gros dispositifs de fixation en acier assujettissant l'isolant depuis l'extérieur influencent le profil thermique local par moins de 5 %;[13]
- toute fuite d'air, aussi minime soit-elle, risque de causer de la condensation à l'intérieur du mur; même des fuites de 0,03 L/s/m² donnent lieu à des accumulations considérables;
- l'accumulation d'humidité imputable à la diffusion de vapeur d'eau est tellement infime qu'elle ne peut pas se mesurer;
- les vis non plaquées, les ébarbures et les éclats commenceront rapidement à rouiller s'ils se trouvent sous la température du point de rosée.

Les auteurs concluent que tous les murs doivent comporter un pare-air, mais qu'il ne faut pas présumer de sa perfection. Il faut tenir pour acquis qu'il se produira de la condensation quelque part; l'important est de savoir où elle se manifestera et si elle causera des dommages. Si elle se forme dans les espaces entre les poteaux ou sur l'ossature, il y a tout lieu de se demander si l'on a fait usage de matériaux suffisamment résistants à l'humidité. Le pare-air doit, dans la mesure du possible, se trouver là où il peut être inspecté et réparé. Il faut s'abstenir de recourir à tout pare-vapeur ou pare-air non intentionnel pour éviter l'accumulation de condensation ou d'une autre forme d'humidité ne pouvant s'échapper.

RECOMMANDATIONS

- Maintenir les poteaux au-dessus de la température du point de rosée de l'air intérieur, puisque les petites fuites d'air, difficiles à prévenir, peuvent tout de même transmettre suffisamment d'humidité pour entraîner énormément de corrosion.
- Le revêtement intermédiaire en polystyrène réduit considérablement les risques de condensation dans les espaces isolés entre les poteaux, sans toutefois les éliminer. L'ossature ne subira pas de condensation qui pourra toutefois se manifester sur le fond et dans les joints du revêtement intermédiaire.
- La meilleure façon d'éviter la condensation consiste à ne pas mettre d'isolant dans les espaces entre les poteaux et d'isoler seulement la cavité.
- En théorie, selon une température de calcul de -30 °C et une humidité relative intérieure de 30 %, il faut mettre en œuvre 76 mm de polystyrène de type 4, en laissant sans isolant les espaces entre les poteaux, pour éliminer toute forme de condensation. La présence d'isolant dans les espaces entre les poteaux empêche la condensation de se former sur l'ossature, mais non sur l'arrière du revêtement intermédiaire. Le cas échéant, elle risque d'endommager le revêtement intermédiaire, de mouiller l'isolant et d'en entraîner l'affaissement et d'accroître la fréquence et les occasions de mouillage du rail inférieur.

Essais des attaches de la brique employées avec des poteaux d'acier[14]

Les essais ont porté sur 12 sortes d'attaches de maçonnerie couramment employées avec les poteaux d'acier dans différents assemblages dans le but de déterminer à la fois leur rigidité et leur capacité de charge de rupture tant en tension qu'en compression. Bien des attaches ont été trouvées déficientes, surtout en cas d'ajustement très serré. Les charges ponctuelles que les attaches transmettaient aux poteaux risquaient, selon les constatations, de compromettre la performance des poteaux, dans certains cas. Les tests avaient pour objet d'établir si les attaches répondaient aux critères suivants :

- résistance et rigidité suffisantes à des fins structurales;
- robustesse et durabilité à l'épreuve des conditions de chantier;
- tolérance et limites du réglage et du mauvais alignement nécessaires pour préserver la performance structurale;
- protection suffisante contre la corrosion, y compris des raccordements;

13 La différence de température réelle n'a pas été signalée. McMaster Part 3, p. 151.
14 Drysdale et Wilson, McMaster Part 4.

- compatibilité avec le revêtement intermédiaire, le pare-air, l'isolant et les autres matériaux avoisinants ainsi qu'avec les modes de mise en oeuvre;
- coût et commodité d'emploi, y compris la facilité d'inspection.

Un large éventail de travaux précédents a été revu au point de départ, y compris des documents de recherche, des recommandations techniques de l'industrie, et des normes. À l'exception des attaches ondulées, le choix s'est porté sur des attaches qui semblaient avoir un mérite quelconque.

Un déplacement de 4 mm entre l'axe du poteau et l'arrière du placage a été utilisé comme critère d'état limite. Les attaches testées étaient assujetties à des poteaux de 0,91 mm, à des poteaux de 1,22 mm ainsi qu'à des appuis rigides. L'effet de placer les attaches à des endroits différents sur l'aile a également été étudié. La plupart des tests ont été effectués avec des poteaux de 0,91 mm, alors que les attaches étaient fixées à l'âme ou à l'aile à une distance de 15 mm de l'âme, selon le genre d'attache. Les plaques de plâtre constituaient le revêtement intermédiaire pour les types d'attaches normalement fixées à travers le revêtement intermédiaire. Les essais de tension ont été menés sur différents types de dispositifs de fixation à vis utilisés pour raccorder les attaches aux ailes. Des attaches réglagles ont été testées à différentes positions, y compris aux moins favorables.

Les attaches réglables variaient grandement quant à l'effet que différentes positions exerçaient sur leur capacité et leur rigidité; dans le pire cas, la charge exercée, compte tenu d'un déplacement de 1,2 mm, correspondait à 10,5 % de celle que la même attache pouvait transmettre dans la position la plus favorable. Les charges requises pour occasionner un déplacement de 1,2 mm s'échelonnaient entre 53 et 1 277 N.

Les attaches se fixant à l'aile des poteaux étaient très vulnérables suivant leur emplacement sur l'aile par rapport à l'âme et susceptibles d'écraser le revêtement intermédiaire en plaques de plâtre lorsqu'elles reposaient dessus. Les attaches se réglant en faisant coulisser un fil dans l'orifice se révélaient très faibles à la position extrême. Les attaches qui se fixent à l'aide de vis mises en tension lorsque la charge s'exerçant sur les attaches est négative avaient tendance à se frotter contre les vis et risquaient d'entraîner une fatigue sous l'action d'inversions de charge répétées.

Les meilleures attaches étaient celles qui se fixaient directement à l'âme des poteaux, à l'aide de dispositifs de fixation travaillant en cisaillement.

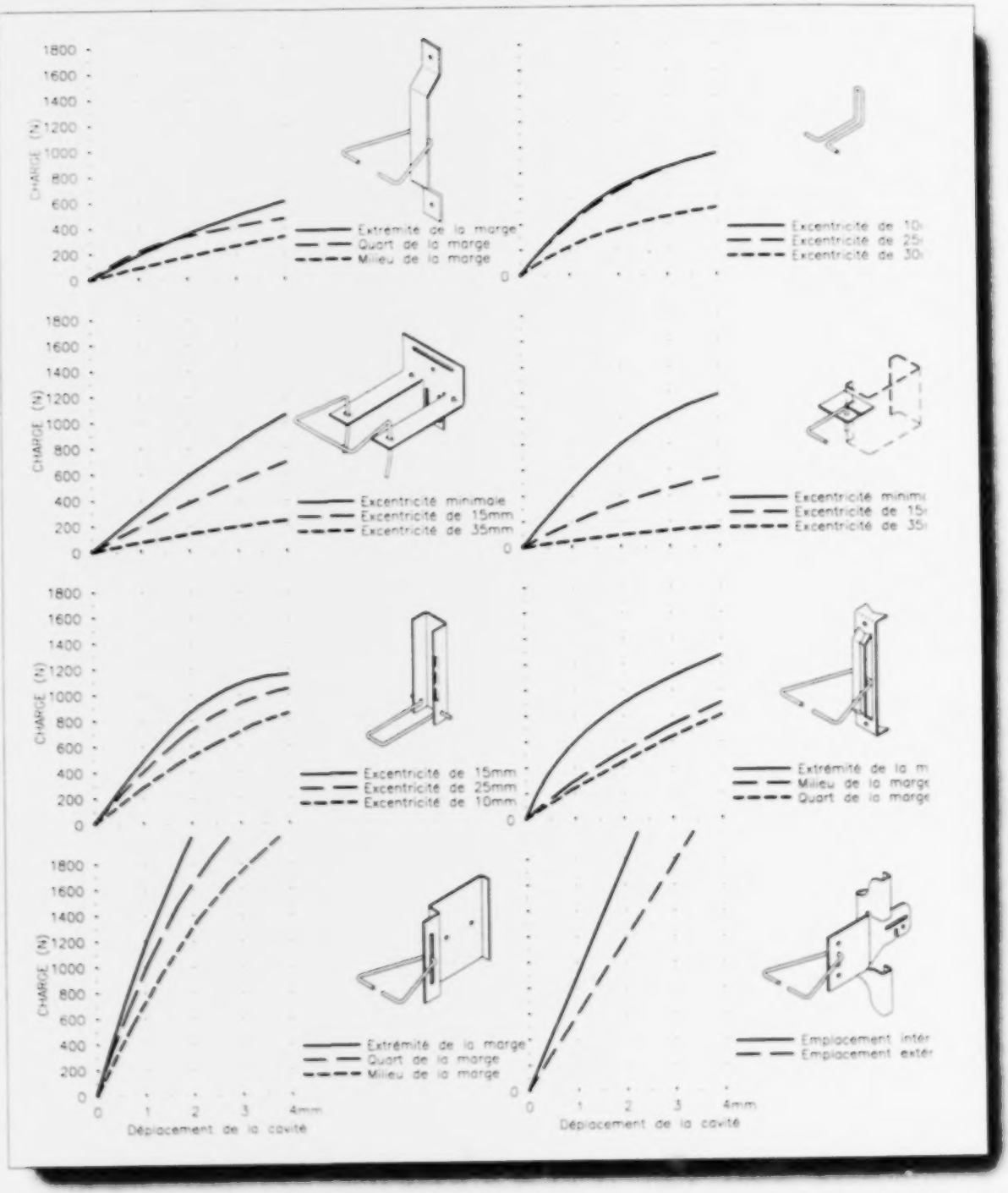


Figure 3-7 : Rigidité de différentes attaches du placage de maçonnerie.[15]

15. D'après la Fig. 21.7 extraite du *Seminaire SCHL sur le placage de brique* et des essais tirés de Master Part 5, de Drysdale et Wilson.

RÉSULTATS DES ESSAIS EFFECTUÉS SUR DES MURS DE PLEINES DIMENSIONS

- La pressurisation de la cavité y réduit considérablement l'infiltration de pluie, sauf que pour y parvenir, il faut compartimenter la cavité, car la ventiler ne suffit pas.
- Les chantepleures et les espacements standards suffisent pour pressuriser la cavité, pourvu que cette dernière soit compartimentée.
- La majorité de l'eau qui s'infiltre par le placage de brique s'introduit par les joints verticaux. Ces derniers doivent donc être remplis au moment de mettre en place la maçonnerie.
- Les joints non étanches au sommet du placage peuvent entraîner l'infiltration de très fortes quantités de pluie, tout comme les évents non protégés en partie supérieure du mur.
- La fissuration du placage a peu d'effet sur l'infiltration de pluie, si la cavité est pressurisée.
- Les attaches du placage ne sont pas soumises à des charges uniformes; des forces très importantes s'exercent sur les attaches du haut avant la fissuration et, après coup, sur les attaches voisines des fissures.
- La charge critique du placage et des attaches se produit lorsque la charge est transmise au placage, c'est-à-dire lorsque la cavité n'est pas pressurisée et avant la fissuration du placage.
- Avant la fissuration, la rigidité du placage obvie à la flexion des poteaux; les poteaux ne transmettent pas une charge uniformément répartie.
- La pression d'air requise pour occasionner des fissures est plus fonction de la résistance de la maçonnerie proprement dite que de tout autre facteur.
- Le bourrage serré du joint supérieur soutient le placage (même un produit d'étanchéité assurera un certain soutien) qui transmet une partie de la réaction des poteaux à la cornière d'appui.[17]
- Appuyer les poteaux d'extrémité du mur de fond dans le sens de la longueur soumet le placage à une flexion bidirectionnelle, qui réduit le déplacement du mur et les fissures secondaires.[18]

Essais de simulation de vent et de pluie sur des murs de pleines dimensions[19]

Drysdale et Wilson ont testé cinq spécimens de murs à placage de brique de pleines dimensions (2,75 x 5,2 m), à l'aide d'un nouvel appareil d'essai capable de simuler simultanément l'effet du vent et de la pluie. Quatre étaient constitués d'une ossature d'acier et d'un placage de brique. Ils ont étudié la performance structurale sous différentes charges et la pénétration de la pluie des *murs ventilés* et des *murs à écran pare-pluie*. Ils ont observé que même les *murs ventilés* construits minutieusement risquent de subir une forte pénétration de pluie dans les conditions courantes et que la fissuration du placage de brique survient à des charges quelque peu supérieures à la charge de calcul fondées sur une flèche de L/720 des poteaux. En résumé, les auteurs ont formulé leurs «recommandations en matière de règles de l'art», en plus de plusieurs autres recommandations classiques :

- assurer un vide d'air dégagé de 50 mm dans la cavité;
- diviser la cavité en compartiments;
- éviter de perforer les poteaux à mi-hauteur;[17]
- assujettir des entretoises aux poteaux avec des cornières de fixation et quatre vis à chaque raccordement;[18]
- éclisser et assujettir les joints des entretoises;
- visser les poteaux aux ailes du rail de part et d'autre;
- prévoir au moins des poteaux jumelés aux ouvertures;
- utiliser des attaches présentant le moins de jeu libre et de la flexibilité;
- placer la ligne d'action de la force des attaches le plus près possible de l'âme des poteaux.

Les murs à ossature d'acier testés comportaient une cavité de 25 mm et dans tous les cas sauf un les plaques de plâtre disposées du côté intérieur tenaient lieu de pare-air (un mur comprenait une membrane autocollante sur le revêtement intermédiaire). Il n'y avait pas d'isolant thermique. Différentes attaches ont été utilisées, choisies en fonction de leur performance moyenne à partir d'un programme d'essais antérieur. Tous les murs tenaient compte d'un mouvement vertical de la structure d'appui, généralement par l'emboîtement du rail supérieur. Un mur présentait une composition inhabituelle en ce sens que les poteaux étaient disposés dos à dos au double de l'espacement usuel, et suspendu par le haut avec une marge de fléchissement vertical prévue au bas. Exception faite de ce

16 Drysdale et Wilson, McMaster Part 5.

17 Il s'agit d'un bon conseil vu l'endroit du moment de flexion maximal, mais peu pratique pour un mur d'une hauteur de 2 400 mm avec une rangée d'entretoises internes. Il est acceptable d'inclure des perforations à mi-hauteur lorsque les tableaux des charges du fabricant en tiennent compte.

18 Rien n'empêche de contreventer les faces des poteaux, sauf qu'il faudra tout de même empêcher ces derniers de subir un effet de rotation général. Drysdale a été incapable d'y parvenir avec l'installation d'essai indiquée dans le document McMaster Part 1.

19 Cela peut modifier la charge vis-à-vis la première fissure et le profil de fissuration du placage.

20 En pratique, cet effet varie selon le rapport de forme, une constante lors des essais.

mur, tous les autres comportaient des contreventements latéraux fixés mécaniquement et des poteaux disposés à entraxe de 406 mm.

Tous les murs d'acier comportaient une ossature conçue pour subir une flèche maximale de L/720 sous une charge de 0,96 kPa. Les rails supérieurs et inférieurs ont été choisis sans imposer de limite à la rigidité des raccordements poteaux-rails. Lors des essais, la fissuration du placage ne s'est produite que sous des charges plus importantes (1,2 à 1,6 kPa). Avant de fissurer, le déplacement latéral du placage, attribuable uniquement à la flexion était de l'ordre de L/1 800 à L/2 500. Cela indique que la rigidité du placage contribue à raidir les poteaux, du moins à mi-portée. Un déplacement latéral appréciable s'est produit au sommet des murs et un déplacement quelconque au bas, en plus de la flexion. Les raccordements supérieurs et inférieurs répondaient aux règles de conception classiques, les rails supérieurs étant emboîtés et les ailes des poteaux vissées aux ailes des rails. Tous ces déplacements sont reproduits sous forme graphique à la *Figure 3-8*. Les charges requises pour entraîner la défaillance de la maçonnerie, des attaches ou des poteaux variaient entre 4 et 8 fois la charge de calcul. Les plaques de plâtre disposées du côté intérieur qui servaient de pare-air affichaient toujours une certaine dégradation après l'application de la charge de calcul intégrale. Dans les murs avec cavité pressurisée, tant les pare-air intérieurs qu'extérieurs ont dans tous les cas failli tout à fait à la tâche avant la défaillance du placage ou de l'ossature. Pour assister à la défaillance limite, il fallait placer une feuille de plastique par-dessus la face extérieure du placage; autrement, l'appareillage employé pour mettre le mur sous charge ne parvenait pas à fournir une pression d'air suffisante après la défaillance des plaques de plâtre.

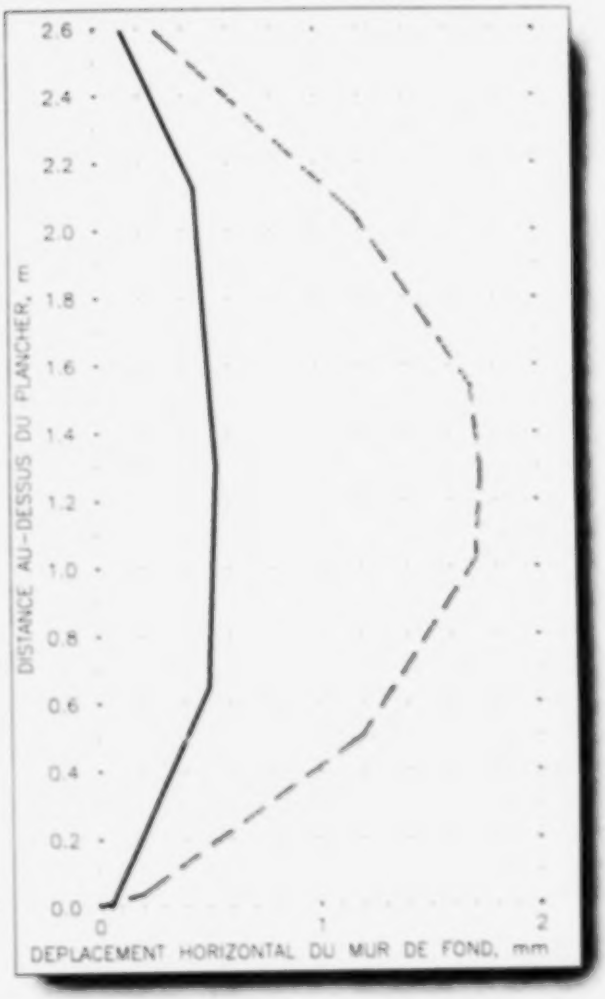


Figure 3-8 : Flèche du mur de fond à ossature d'acier sous charge, avant et après la construction du placage de maçonnerie.[21]

Résumé des résultats des essais effectués à McMaster

Au terme de la série d'essais en laboratoire menés à McMaster, Drysdale en arrive aux conclusions suivantes :[22]

- Le placage de brique est beaucoup plus rigide que le mur de fond à ossature d'acier, de sorte qu'il est irréalisable d'accroître la rigidité du mur de fond pour éviter toute fissuration.
- Un mur rigide intact ne subira aucune fissuration sous l'effet de charges ordinaires, mais la plupart des bâtiments comportent des ouvertures, subissent des mouvements différentiels et des conditions atypiques qui occasionnent la fissuration dans des conditions de tenue en service. C'est pourquoi la conception du mur doit tenir compte de l'éventualité de fissures et d'infiltration de pluie.
- Une flèche limite de L/720 doit servir à restreindre la taille des fissures lorsque le placage a fissuré et que le mur de fond porte toute la charge.
- Des raccordements rigides au sommet du mur de fond réduisent considérablement le mouvement général du mur.

21 Drysdale ET Wilson, McMaster Part 5, Fig. 5.29.
22 Drysdale, *Defining Better Cladding Systems*.

- Les murs percés de grandes ouvertures fissurent sous des charges beaucoup plus faibles. On devra considérer d'assurer un soutien indépendant à l'égard des grandes portes et fenêtres. De minces bandes de placage contiguës aux ouvertures sont susceptibles de se fissurer.
- Doubler les poteaux du bâti d'attente exerce peu d'effet sur la charge de fissuration, mais limite effectivement le fléchissement subséquent. Si de grandes ouvertures sont dépourvues d'appuis indépendants, il pourra être nécessaire de doubler plusieurs poteaux en plus de ceux qui se trouvent tout près de l'ouverture.
- Un joint souple au sommet peut grandement retenir le placage et accroître efficacement sa portée verticale, réduisant ainsi les charges de fissuration.
- Un mur affiche le meilleur comportement structural lorsque la majorité de la différence de pression agit sur le mur de fond, plutôt que sur la face du mur.
- Avant la fissuration, l'attache au sommet transmet environ la moitié de la charge du placage au mur de fond. Après la fissuration, une attache située près de la mi-hauteur peut subir la même charge.
- Des attaches plus flexibles peuvent entraîner des charges de fissuration plus importantes et réduire la force maximale des attaches. Pour éviter tout mouvement indu et la dégradation des produits d'étanchéité et des ouvrages avoisinants, une charge de 450 N doit entraîner un mouvement maximal de 2 mm, jeu mécanique et distorsion du mur de fond compris.
- La condensation de l'humidité provenant de l'air traversant le mur constitue un sérieux motif de préoccupation.

Recherche de la SCHL : Évaluation d'éléments de construction assurant l'étanchéité à l'air[23]

Plusieurs méthodes d'utilisation du revêtement intérieur de finition comme pare-air, ainsi qu'une méthode d'élimination des fuites d'air au moyen d'un pare-air extérieur perméable à la vapeur d'eau ont fait l'objet de tests lors de cette recherche et d'un autre rapport ultérieur. Les détails d'exécution s'appliquent essentiellement à la construction à ossature de bois, mais pourraient être tout de même utiles pour mettre au point un modèle de mur présentant des espaces isolés entre les poteaux et un pare-air intérieur.

ÉTUDES CONCEPTUELLES

Exigences structurales des pare-air[24]

Une étude antérieure consacrée à la perméabilité à l'air de différents matériaux de revêtement intermédiaire et parements établissant la quasi-étanchéité à l'air des plaques de plâtre. Pourtant, les tests effectués jusqu'à la défaillance indiquaient qu'avec des dispositifs de fixation conventionnels, elles pourraient bien ne pas résister suffisamment à certaines charges de calcul dues au vent. Un pare-air en plaques de plâtre fixées par des moyens conventionnels a failli à 1,6 kPa, après avoir résisté à une charge de rafale de 1,8 kPa qui a partiellement arraché les plaques.[25] Ce constat a soulevé la question à savoir à quelle charge un pare-air doit pouvoir résister. McDonald s'est guidé sur le CNB pour déterminer les charges de calcul.

Certaines de ses conclusions ne sont pas intuitivement évidentes :

- Les matériaux de construction, dont les pare-air, n'ont pas à être situés du côté extérieur du bâtiment pour être soumis aux pressions du vent.

---

23 Quirouette, *Projet de recherche de la SCHL : Évaluation d'éléments assurant l'étanchéité à l'air.*
24 McDonald, *Exigences structurales des pare-vent.*
25 Brown et Poirier, *Testing of Air Barrier Systems for Wood Frame Walls.*

- Le pare-air doit être conçu pour résister à la somme des pressions intérieures et extérieures du vent, y compris à l'effet de rafale, aux pressions dues à l'effet de tirage et à la pressurisation mécanique.
- Le fluage, la fatigue et les charges de rupture doivent être considérés séparément au moment de déterminer si le pare-air est suffisamment résistant.
- Les matériaux relativement étanches à l'air, même s'ils ne le sont pas autant que le pare-air, risquent d'être soumis à des charges appréciables.

La résistance du pare-air aux efforts statiques doit être comparée aux charges résultant de vents extrêmes (y compris les effets de rafale), de la contrainte de la dilatation et du retrait thermiques, de l'effet de tirage et de la pressurisation mécanique.

La résistance du pare-air à la fatigue doit être comparée aux charges résultant de vents fréquents, ainsi que de la contrainte de la dilatation et du retrait thermiques.

La résistance du pare-air au fluage doit être comparée aux charges résultant de l'effet de tirage, de la pressurisation mécanique, ainsi que de la contrainte de la dilatation et du retrait thermiques.

Pour les murs à ossature d'acier et placage de brique conçus comme *écrans pare-pluie*, McDonald formule les observations et recommandations suivantes :

- Le pare-air doit être en mesure de transmettre les charges totales de pression d'air (vent + tirage + pressurisation mécanique) à l'ossature d'acier.
- L'assujettissement du pare-air ou de son appui aux poteaux d'acier au moyen de dispositifs de fixation mécaniques doit retenir le pare-air aux poteaux lorsque les charges s'exercent aussi bien vers l'extérieur que vers l'intérieur.
- L'isolant rigide peut également être soumis à d'importantes charges de pression d'air transitoires attribuables aux rafales. L'isolant imperméable à l'air et son système de fixation doivent pouvoir résister à la composante rafale des charges dues au vent.

Quant au pare-air constitué de plaques de plâtre ou appuyé contre elles, McDonald conclut que l'espacement standard des vis de fixation (300 mm au pourtour et 400 mm à l'intérieur) ne convient tout simplement pas dans la plupart des cas. Les concepteurs en structure ne conviendront pas tous de la façon de McDonald de quantifier les charges de calcul. Par contre, il offre un cadre leur permettant de déterminer eux-mêmes les charges pour un endroit et un mur particuliers. L'espacement proposé par McDonald est fondé sur q1/10 de 0,65 kPa qu'il considère comme adéquat dans toutes les zones du Canada, sauf peut-être celles qui subissent les plus forts vents. Cette démarche a cependant été jugée trop prudente. S'en remettre à des charges propres au site donnerait lieu à un espacement plus marqué des dispositifs de fixation dans presque tous les cas. Par la même occasion, son estimation de la résistance à la flexion des plaques de plâtre pourrait être jusqu'à deux fois trop élevée.[26] D'autres concepteurs en structure pourraient bien en arriver à d'autres recommandations, surtout pour les régions où les charges dues au vent sont moindres, mais le même raisonnement tiendrait, même si les données obtenues différaient. En ce qui concerne le calcul aux états limites, pour un coefficient de résistance de 0,5, vu la variabilité inconnue de l'arrachement des vis en moyenne et pour une utilisation générale n'importe où au Canada, McDonald recommande ce qui suit :

[26] T.W.J. Trevitt.

Tableau 3-2 : Espacement des dispositifs de fixation sur les poteaux, mm

	espacement des poteaux, mm		
hauteur au-dessus du niveau du sol, m	300	400	600
0 à 6	200	150	100
6 à 12	150	100	75
12 à 20	150	100	75
20 à 30	150	100	75
30 à 44	100	100	75
44 à 64	100	100	50

Il recommande également une épaisseur minimale des plaques et une direction des plaques de plâtre mises en œuvre horizontalement offrent une meilleure résistance) :

Tableau 3-3 : Épaisseur des plaques de plâtre, mm, et direction

	espacement des poteaux, mm		
hauteur au-dessus du niveau du sol, m	300	400	600
0 à 6	12.7	12.7	12.7 H
6 à 12	12.7	12.7 H	12.7 H
12 à 20	12.7	12.7 H	12.7 H
20 à 30	12.7	12.7 H	12.7 H
30 à 44	12.7	12.7 H	12.7 H
44 à 64	12.7	12.7 H	15.9 H

Lorsque les plaques de plâtre constituant le revêtement intermédiaire recouvrent les poteaux du côté extérieur plutôt que du côté intérieur et tiennent lieu de pare-air, le même raisonnement s'applique. Par contre, la direction de la charge nette de succion est différente en ce qui concerne les vis et la possibilité de réparation est du même coup moins probable, de sorte qu'un coefficient de calcul aux états limites plus faible apparaît mieux indiqué que pour un pare-air en plaques de plâtre disposé du côté intérieur.

McDonald fournit d'autres recommandations concernant la fixation et l'épaisseur minimale de divers isolants rigides à mettre en œuvre dans les cavités.

Modèles d'analyse des éléments finis

En comparaison avec les essais menés en laboratoire sur des murs de plusieurs dimensions, Drysdale et Chalhoub[27] ont élaboré des modèles analytiques de plusieurs moyens possibles de considérer une ossature d'acier et un placage de brique comme des systèmes structuraux bidimensionnels, entre autres, en :

- utilisant le placage comme élément porteur de la charge due au vent, en l'occurrence, la fonction des poteaux d'acier est de résister à la charge due au vent depuis la cavité provisoirement par les attaches jusqu'au placage, dont la portée s'étendrait d'un étage à l'autre;
- laissant le placage et les poteaux agir indépendamment, sans attaches, en l'occurrence, si l'on peut se fier à l'équilibrage de la pression dans la cavité, le placage n'est pas soumis à une charge due au vent;
- construisant le placage en ne laissant en place que les poteaux, de façon à pouvoir inspecter et nettoyer la cavité, avant de mettre en œuvre l'isolant et le parement intérieur (des variantes de cette proposition ont été testées en laboratoire).

Ils ont aussi mis au point un modèle structural d'éléments finis tridimensionnel pour prédire le comportement de systèmes où tous les éléments agissent entre eux pour porter la charge. Le placage est modélisé comme un élément plat en flexion, soutenu aux quatre chutes de même que par des attaches. Les poteaux et les contreventements sont modélisés comme une grille et les attaches comme des ressorts. Le modèle, en langage Fortran 77, tourne sur un appareil IBM PC avec 640 K de mémoire vive (RAM) et 10 Mb d'espace libre sur le disque dur. Le modèle ne sera utile qu'à un analyste en structure expérimenté. Il prédit cependant raisonnablement bien le comportement en laboratoire de murs échantillons de plusieurs dimensions et permet d'élucider les points suivants :

- doubler la rigidité des poteaux d'acier n'exerce qu'une modeste influence sur le comportement du placage jusqu'à ce que la première fissure se soit formée;
- accroître tant la rigidité que la résistance du placage augmente la charge de fissuration. Doubler sa rigidité le prédispose à subir plus de charge, sans modifier beaucoup la charge à l'endroit de la première fissure;
- doubler la rigidité des attaches fait légèrement décroître la charge de fissuration;
- prévenir la translation latérale en partie supérieure (flèche perpendiculaire au plan du mur) grâce à un toit supérieur ou un raccordement rigide est très bénéfique;
- les charges s'exerçant sur les attaches près du sommet sont très élevées avant la fissuration et les charges s'exerçant sur les attaches situées ailleurs sont assez faibles (la notion d'aire tributaire et l'hypothèse de la répartition uniforme des charges sur lesquelles les codes sont fondés sont loin d'être justes. La rangée supérieure d'attaches porte une charge supérieure à ce que prévoient les codes);
- faire passer l'épaisseur du placage à 140 mm fait plus que doubler la charge à l'endroit de la première fissure (1,43 kN comparativement à 3,20 kN);
- lorsque les murs comportent des ouvertures (fenêtres, par exemple), la charge provoquant la fissuration est considérablement réduite (0,5 kN comparativement à 1,43 kN) et ne produit presque indépendamment de la rigidité du mur de fond. Un mur de fond plus rigide limite la taille des fissures.

[27] Drysdale et Chalhoub, *Defining Better Cladding Systems – Theoretical Work*.

RAIN[28]

RAIN est un programme informatique compatible IBM PC issu d'une recherche consacrée à l'équilibrage de la pression des cavités murales dans différentes conditions de pression aussi bien en chambre d'essais qu'en soufflerie. Le programme se fonde sur les lois des gaz et tient compte de la profondeur et de l'aire de la cavité (donc du volume des compartiments), de la flexibilité et de l'étanchéité du mur de fond, de la flexibilité du parement et de la surface de ventilation. Lorsque ces variables sont précisées par l'utilisateur, le programme calcule la pression de la cavité en fonction du temps en présumant une fluctuation en dents de scie pour déterminer la pression extérieure. Le programme fait ensuite état, sous forme graphique, du pourcentage de charge qu'encaisse le parement, le pourcentage que porte le mur de fond, ainsi que la pression de la cavité. Il calcule la pression extérieure, la pression de la cavité, la charge s'exerçant sur le parement, la charge que subit le pare-air, le volume de la cavité, le débit par les évents, et le débit par le pare-air pendant une période de 0 à 1,5 seconde (3 cycles en dents de scie) à intervalle de 0,05 seconde. Le programme RAIN a été validé par comparaison avec les résultats obtenus en chambre d'essais. Ses prédictions concordent raisonnablement bien avec les pressions mesurées dans la cavité du mur extérieur à *écran pare-pluie* d'un bâtiment de grande hauteur.[29] La fréquence en dents de scie retenue simule les taux de charge types et l'amplitude des rafales mesurées sur de véritables bâtiments avec des prises de pression. Le programme est accompagné d'une excellente documentation, facile à comprendre et à utiliser.

En réglant les entrées et en examinant les résultats, l'utilisateur constate rapidement à quel point l'équilibrage de la pression de la cavité est sensible à différentes variables. Si la cavité ne parvient pas à bien suivre la pression extérieure, doit-on réduire le volume de la cavité ou augmenter la surface de ventilation extérieure? Si le pare-air fuit deux fois plus que prévu, qu'advient-il de la charge agissant sur le parement? Voilà des facteurs qui, sans l'apport de ce programme, seraient pratiquement qualifiés d'impondérables, si le bureau d'études techniques ne disposait que de ressources ordinaires. Le logiciel RAIN permet de les explorer facilement, de cerner les meilleures options conceptuelles et d'identifier les défauts de construction les plus susceptibles de causer des problèmes. Par exemple, RAIN montre la différence de performance entre l'isolant fibreux et l'isolant à cellules fermées ayant une valeur RSI équivalente. Puisque l'air peut entrer et quitter librement l'isolant fibreux, son volume fait partie de celui de la cavité, risquant possiblement de compromettre l'équilibrage de la pression de la cavité.

Il se peut que les essais amorcés à la SCHL et à l'IRC du CNRC se traduisent par de meilleurs outils. Entre-temps, ce programme est facile à appliquer à la conception de murs destinés à jouer le rôle d'*écran pare-pluie*. Il permet de mieux quantifier d'importantes variables, comme l'effet du volume des compartiments.

EMPTIED[30]

Dans le dessein d'établir un degré d'étanchéité à l'air réalisable et tout indiqué, la SCHL et TROW ont mis au point *EMPTIED*, logiciel compatible IBM PC, qui calcule l'accumulation de condensation dans un mur au cours de plusieurs saisons. Le logiciel exploite les données mensuelles regroupées par classes en vue de déterminer les températures des surfaces à l'intérieur du mur. Il permet à l'utilisateur de préciser un fichier de données regroupées par classes (parmi les fichiers visant les grandes villes canadiennes), les conditions intérieures de

---

28 Morrison Hershfield, *Rainscreen Concept Applied to Cladding Systems on Wood Frame Walls*.

29 Place Air Canada.

30 TROW Inc., *Criteria for The Air Leakage Characteristics of Building Envelopes*.

température et d'humidité (que l'utilisatur peut préciser pour chaque mois), les propriétés thermiques du mur, une surface de fuite, et les quantités maximales d'humidité que peuvent absorber deux plans de condensation spécifiés du mur.

EMPTIED fonde ses calculs sur des principes théoriques et fait plusieurs suppositions simplificatrices risquant de limiter l'exactitude de ses prédictions. Il s'avere meilleur pour comparer deux différents modèles ou climats que pour prédire des quantités absolues de condensation. Il présume que la pression motivant les fuites d'air dans le mur est l'effet de tirage agissant sur la hauteur d'un étage déterminé de classe horaire en classe horaire à partir de la température extérieure. Il tient également pour acquis que le parcours à travers le mur est suffisamment long pour que l'air parvienne à l'équilibre hygrométrique avant de s'échapper. Pour chacun des mois, le programme calcule la quantité de condensation, d'évaporation et d'humidité emmagasinée aux deux surfaces choisies, et ainsi la quantité qui doit soit être évacuée à l'extérieur soit demeurer à l'intérieur du mur sous forme d'eau ou de glace non absorbée par les matériaux.

Le programme est limité à commencer l'année avec des matériaux secs, de sorte qu'il ne permet pas d'étudier l'effet de construire avec des matériaux humides. Il offre la possibilité de faire porter la simulation sur plusieurs années consécutives de maniere à constater si un surplus d'humidité risque d'être reporté d'année en année. La version 2.0 permet de superposer une pression constante à l'effet de tirage, qui serait autrement la seule force poussant l'air dans le mur, le mouvement étant régi par la surface de fuite de la couche la plus étanche. Les mouvements de convection que subit le mur du même côté par infiltration ou exfiltration n'en font pas partie. L'exploitation du logiciel doit tenir compte de ces hypothèses. Néanmoins, le logiciel offre tout de même un moyen intéressant d'explorer l'influence possible de différents modèles sur les risques d'accumulation de condensation dans un mur.

AUTRES SOURCES D'INFORMATION

Les ouvrages cités à la fin du présent guide comportent plus de sources d'information détaillée que ce qui a déjà été mentionné. Les *Digests de la construction au Canada*, publiés périodiquement pendant de nombreuses années par la Division des recherches sur le bâtiment (devenue maintenant l'Institut de recherche en construction) du CNRC constituent une source fondamentale d'information sur la technologie du bâtiment au Canada. Les *Notes d'information sur la construction*, de l'IRC, s'avèrent également utiles. *Walls, Windows and Roofs for the Canadian Climate*[31] est un excellent manuel de base destiné aux technologues du bâtiment. *Building Science for a Cold Climate*[32] est un document plus poussé qui suscitera davantage l'intérêt des ingénieurs et des architectes ayant entretenu leurs mathématiques.

[31] Latta.
[32] Hutcheon et Handegord.

CHAPITRE 4
CONSÉQUENCES POUR LA CONCEPTION

ÉTANCHÉISATION DE FAÇADE

Tant l'expérience que les essais en laboratoire indiquent fortement qu'il ne faut pas s'attendre à ce que la méthode d'étanchéisation de façage élimine l'infiltration d'eau. Le choix de l'ossature d'acier, des dispositifs de fixation, du parement, de la protection anticorrosion et de l'isolant thermique doit donc être arrêté en présumant de la présence d'humidité. Ces choix supposent des jugements difficiles, puisque la quantité d'humidité et la durée de vie de la protection retenue ne sont pas faciles à estimer. Nul ne peut s'attendre à ce que les murs à placage de brique sur fond à ossature d'acier aient un comportement efficace comme systèmes d'étanchéisation de façade.

SYSTÈMES DE MURS VENTILÉS

Étant donné que la compartimentation des cavités n'est pas pratique courante, les murs que Keller a étudiés se comportaient probablement comme des systèmes de *murs ventilés* et non des murs à *écrans pare-pluie équilibrés*. Un mur pensé pour empêcher l'infiltration de pluie poussée par le vent et prévenir la condensation devrait afficher moins de corrosion que la quantité qu'il a observée. Bien qu'il soit difficile de prédire la durée utile des revêtements métalliques perdus, surtout lorsque les conditions en service ne peuvent pas être apparentées aux conditions d'essai, mais les relations suivantes s'établissent clairement :

- les conditions régnant dans une cavité murale sont plus sérieuses que celles qui sévissent à l'extérieur;
- les conditions régnant dans la cavité d'un *mur ventilé* sont plus sérieuses que dans la cavité d'un *mur à écran pare-pluie*;
- les conditions régnant dans les espaces isolés entre les poteaux sont plus sérieuses que dans les espaces non isolés entre les poteaux;
- les conditions régnant du côté intérieur du pare-air sont moins sérieuses qu'à l'extérieur du pare-air;
- le risque de mouillage périodique dans les espaces entre les poteaux d'un mur extérieur est plus grand que pour un mur intérieur;
- les revêtements des attaches de maçonnerie (généralement conformes à Z275 ou moins) se sont avérés inadéquats pour une durée en service raisonnable dans la cavité murale.

Pour les systèmes de *murs ventilés*, sans compartimentation et équilibrage de pression, des précautions doivent entourer le choix de la protection anticorrosion, surtout dans les secteurs soumis à de forts vents et à de fortes précipitations ainsi que dans les régions côtières. Le choix doit se fonder sur l'hypothèse que la pluie qui s'infiltre va parvenir dans les espaces entre les poteaux, à moins qu'ils soient laissés sans isolation et séparés de la cavité murale par une membrane imperméable.

Au départ, les observations de Keller laissent croire que l'électrogalvanisation ne protège pas suffisamment les poteaux et que le zingage à chaud Z275 (G90) ne suffit pas pour le rail inférieur lorsque le papier de construction recouvrant le revêtement intermédiaire en plaques de plâtre sépare les espaces entre les poteaux de la cavité. À l'opposé, la protection équivalant à celle que requièrent les attaches de maçonnerie devrait plus que suffire, vu que les attaches que Keller a observées se trouvaient généralement dans un état pire que les autres éléments constituants en métal galvanisé des mêmes murs. La nouvelle

exigence[1] de recourir à des attaches en acier galvanisé à certains endroits, d'après l'indice de la pluie chassée, est présumément basée sur l'hypothèse voulant que la plupart des murs continueront de se comporter comme des *murs ventilés* et non comme des *murs à écran pare-pluie*.

Il ne doit pas être question de surcalculer les éléments d'acier pour tenir compte de la rouille. Dès que la protection anticorrosion est perdue, la durée utile de l'élément protégé est terminée.

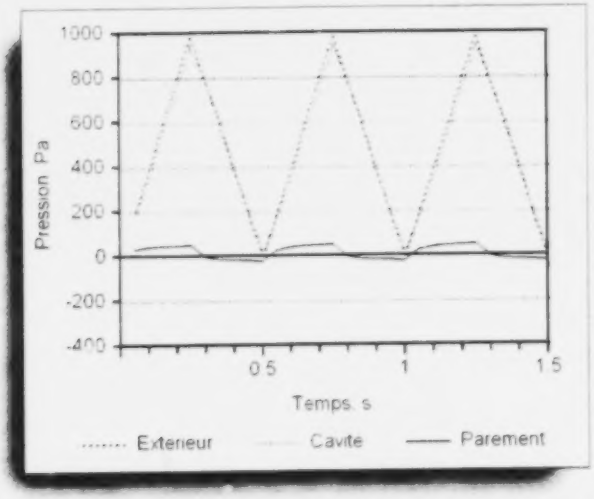


Figure 4-1 : Évaluation de l'équilibrage de la pression d'un mur à ossature d'acier et placage de brique, avec 50 mm d'isolant de polystyrène de type 4 et pare-air sur revêtement intermédiaire.

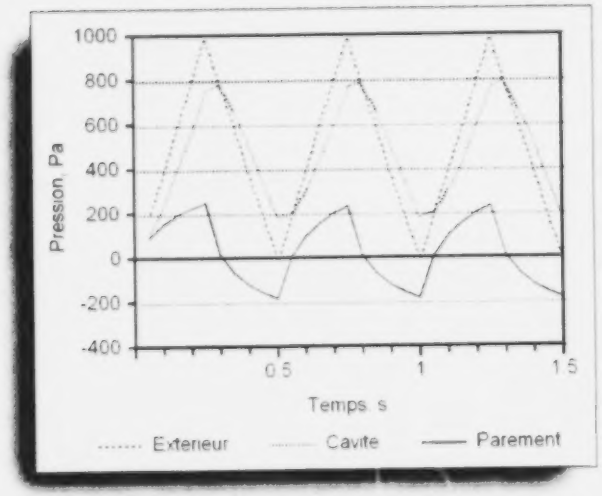


Figure 4-2 : Évaluation de l'équilibrage de la pression d'un mur à ossature d'acier et placage de brique, avec 75 mm d'isolant rigide en fibre de verre dans la cavité et pare-air sur revêtement intermédiaire.

SYSTÈMES DE MURS À ÉCRAN PARE-PLUIE

Pour jouer son rôle, l'*écran pare-pluie* doit compter sur un pare-air capable de résister aux différences de pression régnant entre l'intérieur et la cavité. De plus, il doit être suffisamment rigide, étanche à l'air et continu par rapport au volume de la cavité et à la surface de ventilation pour garantir l'équilibrage de la pression de la cavité avec la pression extérieure. Pour un pare-air constitué d'un revêtement intermédiaire en plaques de plâtre fixées à une ossature d'acier ou encore de plaques de plâtre fixées du côté intérieur, les dispositifs de fixation et l'espacement auxquels ont habituellement recours les hommes de métier sont probablement inadéquats. En plus d'être plus rapprochés, les dispositifs de fixation protégés de la corrosion doivent servir à assujettir le revêtement intermédiaire. Les plaques de plâtre appuyant le pare-air inaccessible doivent être fixées plus solidement que s'il se répare facilement.

Il vaut probablement mieux aménager un *écran pare-pluie* qu'augmenter seulement l'épaisseur de la protection métallique, puisqu'il réduit considérablement, voire empêche l'eau de s'infiltrer dans le mur. L'écran pare-pluie gagne en efficacité dans les zones climatiques où la pluie est couramment poussée par le vent, ou sur les faces de bâtiment les plus exposées aux violentes tempêtes. Dans la cavité murale, et lorsque la condensation risque de se manifester dans les espaces isolés entre les poteaux, il convient toujours de choisir avec soin la protection. Si le pare-air se situe du côté extérieur des espaces entre les poteaux, et que les espaces sont laissés sans isolant, les renseignements connus, quoique limités, indiquent que le zingage Z275 (G90) suffit probablement. Il serait tout à fait sensé d'utiliser la même protection que pour les poteaux intérieurs, soit Z180 (G60), sauf que les charges latérales sont plus importantes et les conséquences de défaillance plus lourdes.

Le concepteur voulant s'assurer que le mur se comportera comme un écran pare-pluie pourra s'en remettre au logiciel RAIN pour évaluer l'équilibrage de la pression de la cavité. Le revêtement intermédiaire, l'isolant et le parement doivent être choisis et fixés de manière à pouvoir supporter les charges dues au vent combinées à d'autres différences de pression d'air. Le pare-air appuyé, mais inaccessible, exige davantage de précautions que celui qui peut se réparer une fois endommagé.

1 CSA A370-94, *Crampons pour maçonnerie*.

Les *Figures 4-1, 4-2* et 4-3 montrent, selon le logiciel RAIN, la représentation graphique de différentes conditions, toutes semblables aux détails d'exécution énoncés dans le présent guide. À mesure que s'accroît le volume de la cavité, en y ajoutant celui de l'isolant dans la cavité, puis celui de la cavité de l'ossature, la charge maximale s'exerçant sur le parement passe de 48 Pa à 248 Pa, puis à 370 Pa. Les trois cas présument que la cavité mesure 2,6 m de hauteur et les compartiments 10 m de longueur. La flexibilité du parement et le pare-air sont tous deux assortis de la valeur 0, puisqu'ils sont liés ensemble. Le jeu libre des attaches est tenu pour être comblé par une base de pression constante sur laquelle se superpose la rafale en dents de scie. La surface de ventilation correspond à 0,012 m² par compartiment; 0,01 m² pour les joints ouverts selon un espacement de 600 mm plus 0,002 m², un vide moyen de 0,2 mm derrière le solin. La surface de fuite du pare-air équivaut à 0,00060 m² par compartiment, qui correspond à 0,15 L/s/m² à 75 Pa[2], soit le taux de fuite le plus élevé recommandé par Lux et Brown.[3] Bien que le vide moyen derrière le solin puisse être plus important, certains évents de la brique pourraient être obstrués et le pare-air ne serait probablement pas aussi étanche. De telles différences de pression pourraient être obtenues si à la fois la surface de ventilation et la surface de fuite étaient augmentées.

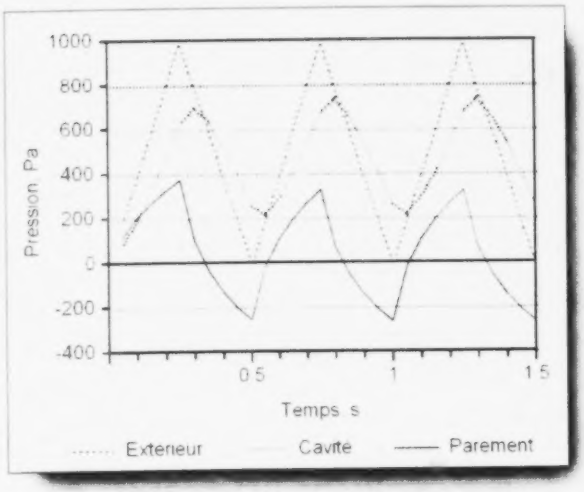


Figure 4-3 : Évaluation de l'équilibrage de la pression d'un mur à ossature d'acier et placage de brique, avec 75 mm d'isolant rigide de fibre de verre dans la cavité, 90 mm d'isolant de fibre de verre dans les espaces entre les poteaux, et pare-air en plaques de plâtre étanches.

Témoignant de l'effet des fuites du pare-air, la *Figure 4-4* montre ce qui arrive aux trois meilleures conditions précédentes lorsque la surface de fuite est augmentée pour correspondre aux meilleures conditions des bâtiments existants mesurées par Shaw[4] - 0,0019 m² par compartiment (à peu près équivalent à 0,5 L/s/m² à 75 Pa). Un tel bâtiment se révèle tout à fait étanche comparativement à de nombreux bâtiments existants où l'étanchéité à l'air a été mesurée.[5]
L'équilibrage de la pression est quelque peu compromis, alors que la charge maximale s'exerçant sur le parement passe de 48 à 98 Pa, mais pas de façon spectaculaire comparativement à l'effet d'augmenter le volume de la cavité. La condensation attribuable aux fuites d'air est toute autre chose.

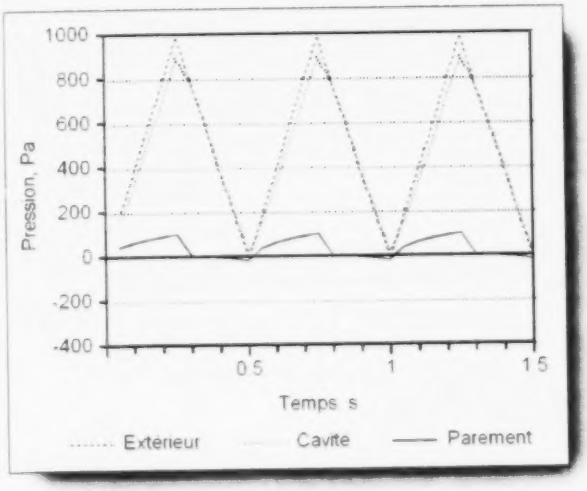


Figure 4-4 : Évaluation de l'équilibrage de la pression d'un mur à ossature d'acier et placage de brique, avec 50 mm d'isolant de polystyrène de type 4, et revêtement intermédiaire ajusté à joints serrés constituant le pare-air.

Condensation dans le revêtement intermédiaire

Le pare-air assurant l'équilibrage approprié de la pression d'un *écran pare-pluie* n'est pas si étanche à l'air qu'il s'opposera à la présence d'air chaud humide dans les

---

2 La formule de conversion approximative du débit en surface équivalente, extraite de *Regard 83 sur la science du bâtiment*, est : $A = 1/780 * F/(\Delta P)^{0,7}$ où la surface A est exprimée en m², le débit F en L/s et la différence de pression (ΔP) en Pa. EMPTIED fait appel à une formule différente où le facteur 1/780 varie en fonction de la densité de l'air, alors que ΔP est élevé à la puissance 0,7. Les calculs d'EMPTIED mesurent avec plus d'exactitude la véritable surface de fuite, en supposant de prime abord des mesures de surface exactes. C'est pourquoi il ne faut pas s'attendre à une conversion simple, pas plus qu'à des résultats découlant des deux logiciels ou des essais effectués sur le terrain de fuites comparables, au-delà du premier ordre de grandeur.

3 *Regard 86 sur la science du bâtiment*.

4 Shaw et Tamara, *Studies on Exterior Wall Tightness*.

5 Des valeurs de 2,10 à 3,15 L/s/m² à 50 Pa ont été signalées par Gulay, Stewart et Foley, dans *Field Investigation Survey of Airtightness*.

espaces entre les poteaux. Cette considération suffit pour préconiser de ne pas mettre d'isolant dans les espaces entre les poteaux dans certaines zones climatiques du Canada, et dans le cas de bâtiments présentant des ambiances humides, peu d'isolant dans la cavité. En revanche, le choix peut s'arrêter sur des systèmes d'ossature métallique, des dispositifs de fixation et des parements capables de soutenir un mouillage périodique sans subir de dommages au cours d'une durée de vie raisonnable. Il est cependant difficile de décider comment assortir les niveaux escomptés et la durée de conditions humides aux matériaux appropriés.

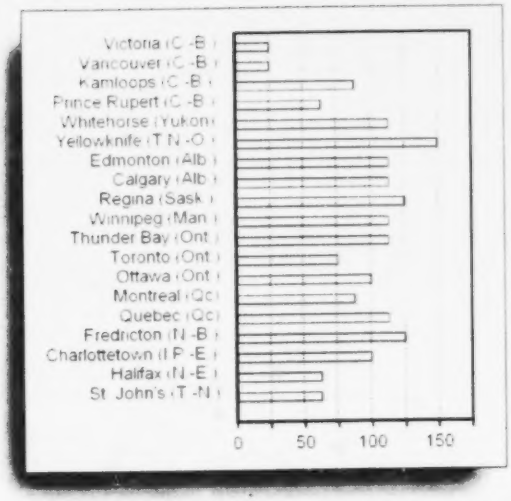


Figure 4-5 : Isolant (en mm) requis dans la cavité pour prévenir la formation de condensation dans le revêtement intermédiaire, les espaces entre les poteaux étant isolés.

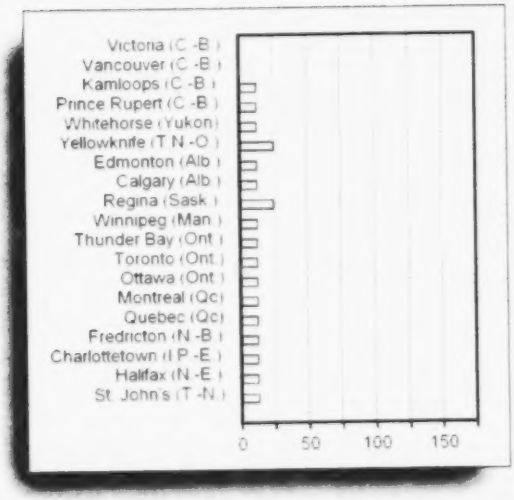


Figure 4-6 : Isolant (en mm) requis dans la cavité pour empêcher la formation de condensation dans le revêtement intermédiaire, les espaces entre les poteaux étant non isolés.

Grâce au logiciel EMPTIED, il est possible de comparer les différentes possibilités de condensation entre deux systèmes de murs, ou encore la performance de modèles identiques dans différentes zones climatiques. Bien qu'il ne soit pas nécessaire pour le but recherché, EMPTIED peut également déterminer quel degré d'isolation dans la cavité fera en sorte qu'il ne se formera pas, en hiver, de condensation sur une couche particulière du mur en conservant cette couche en tout temps au-dessus du point de rosée intérieur. EMPTIED permet aussi de déterminer la quantité d'isolant requise dans la cavité en fonction de combinaisons particulières de surface de fuite équivalente et de condensation absorbée, si un critère d'acceptabilité peut être choisi autrement.

La *Figure 4-5* montre la quantité d'isolant de polystyrène de type 4 dans la cavité, par multiples de 12,5 mm, qui, selon EMPTIED, empêchera la formation de condensation hivernale dans le revêtement intermédiaire d'un mur comportant 90 mm d'isolant fibreux dans les espaces entre les poteaux. Le mur modèle utilisé ressemble aux murs précisés au chapitre 6, sauf que les plaques de plâtre disposées du côté intérieur forment le pare-air, qu'une membrane de polyéthylène forme le pare-vapeur, et que rien ne sépare le revêtement intermédiaire de l'isolant de la cavité. La température intérieure est de 22 °C et l'humidité relative intérieure de 30 %. La surface de fuite ne devrait avoir aucune influence dans le cas présent, étant donné que la température du revêtement intermédiaire est supérieure au point de rosée intérieur (une valeur de 0,75 cm²/m² a été utilisée et une quantité de condensation inférieure à 0,0009 kg/m² a été arrondie à 0).

La *Figure 4-6* montre, pour les mêmes endroits, la quantité correspondante d'isolant requise pour éviter la présence de condensation dans le revêtement intermédiaire, en l'absence d'isolant dans les espaces entre les poteaux. Exception faite de l'épaisseur de l'isolant, ces murs ressemblent à ceux dont il est fait état au chapitre 6. Les autres paramètres demeurent les mêmes.

De toute évidence, lorsque les espaces entre les poteaux sont laissés sans isolant, la quantité d'isolant requis dans la cavité est régie par un souci de consommation d'énergie, et non de condensation ou de confort.

Si le concepteur tolère un peu de condensation, alors la surface de fuite équivalente et les pressions agissantes influent, en plus des conditions intérieures, sur les quantités de condensation signalées par EMPTIED. Pour tous ces exemples, les seules pressions considérées sont la pression partielle de vapeur d'eau (diffusion) et l'effet de tirage créé sur la hauteur d'un étage par la différence de densité de l'air entre l'intérieur et l'extérieur (quant à l'humidité transportée par les fuites d'air). EMPTIED permet de superposer une pression constante sur l'effet de tirage, si on le désire.

La *Figure 4-7* indique la quantité d'isolant requise dans la cavité si 0,25 kg/m² de condensation dans le revêtement intermédiaire s'avère acceptable (équilibre à 100 % HR) pour le mur comportant 90 mm d'isolant dans les espaces entre les poteaux, soumis aux mêmes conditions intérieures et présentant une surface de fuite équivalente de 0,75 cm²/m².

Différents taux de fuite d'air ou différents degrés d'humidité intérieure nécessiteraient différents niveaux d'isolation de la cavité pour limiter la condensation à une valeur maximale donnée.

Si la quantité d'isolant présente dans la cavité est inférieure à ce qui est requis pour prévenir tout à fait la condensation dans le revêtement intermédiaire, des surfaces de fuite légèrement différentes modifient de façon spectaculaire le risque de saturation. La *Figure 4-8* indique, pour Yellowknife (T. N.-O.), la surface de fuite équivalente pour laquelle EMPTIED prédit 0,25 kg/m² de condensation dans le revêtement intermédiaire, selon différentes quantités d'isolant dans la cavité. À noter que les surfaces de fuite sont exprimées en mm²/m² et non en cm²/m²! Lorsque la quantité d'isolant dans la cavité ne prévient pas complètement la formation de condensation, la quantité de fuite d'air qui peut être tolérée peut être infime. Yellowknife représente certes un cas extrême, mais le climat influe plus sur l'épaisseur de l'isolant au moment de la transition que la soudaineté de la transition.

Les murs sont également sensibles aux changements de conditions intérieures. Les murs convenant tout à fait à une habitation peuvent très bien ne pas convenir autant à un musée ou à une piscine. La Figure 4-9 montre, pour une surface de fuite de 0,75 cm²/m², le degré d'humidité relative intérieure qui occasionnera 0,25 kg/m² de condensation dans le revêtement intermédiaire, selon différentes quantités d'isolant dans la cavité, encore une fois pour Yellowknife. Contrairement à la relation existant entre l'isolant de la cavité et la surface de fuite tolérable, celle-ci s'avère presque linéaire.

Dans tous les exemples précédents, la température intérieure est de 22 °C, l'humidité relative intérieure de 30 % et la surface de fuite de 0,75 cm²/m² (à peu près équivalente à 0,5 L/s/m² à 75 Pa), sauf indication contraire.

Tous les exemples ne s'attardent qu'à la condensation en hiver. EMPTIED fait également état de la formation de condensation dans le revêtement intermédiaire refroidi par la climatisation des locaux, attribuable à l'humidité présente dans l'air extérieur l'été.

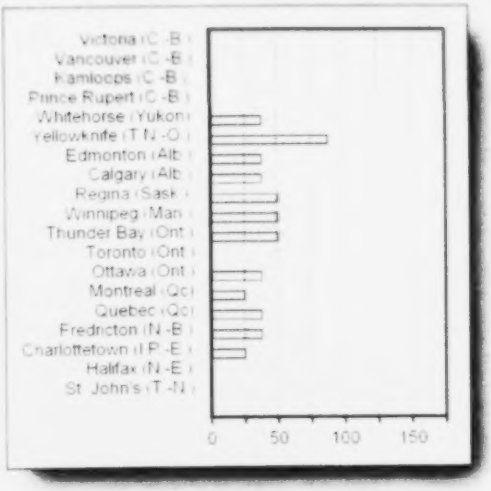


Figure 4-7 : Isolant (en mm) requis dans la cavité pour limiter la condensation dans le revêtement intermédiaire à l'équilibre selon 100 % HR, les espaces entre les poteaux étant isolés.

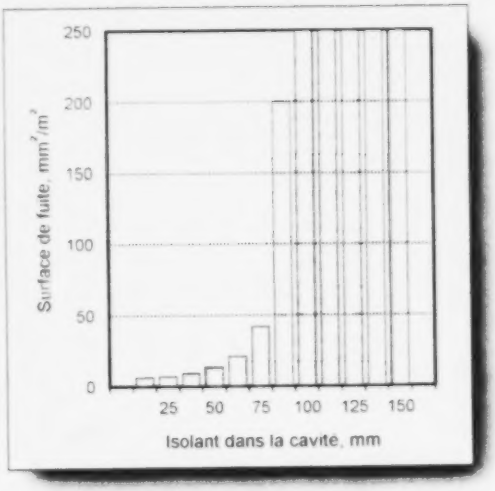


Figure 4-8 : Surface de fuite pour laquelle EMPTIED prédit 0,25 kg/m² de condensation dans le revêtement intermédiaire en plaques de plâtre, les espaces entre les poteaux étant isolés et la cavité présentant différents niveaux d'isolation, pour Yellowknife.

Condensation dans le placage de brique

L'ajout d'isolant dans la cavité diminue les possibilités de condensation dans le revêtement intermédiaire. Par contre, il accroît les risques de condensation hivernale dans le parement, vu que la brique se refroidit en raison de l'augmentation d'isolant.

Quoique la quantité de condensation que prédit EMPTIED puisse différer de la réalité, étant donné que les calculs ne tiennent pas compte du vent, du rayonnement solaire et d'autres effets d'assèchement, le logiciel permet de comparer différents murs et d'évaluer respectivement les risques d'accumulation d'humidité, d'efflorescence et de dommages causés par le gel. En conjugaison avec l'accumulation de condensation, EMPTIED indique le nombre d'heures durant lesquelles la température des plans de condensation choisis est supérieure et inférieure au point de congélation. Pour les mêmes

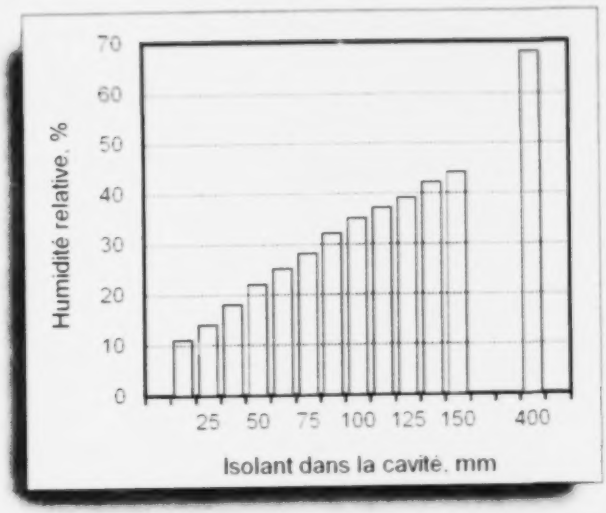


Figure 4-9 : Degré d'humidité relative intérieure qui entraînera, selon EMPTIED, 0,25 kg/m² de condensation dans le revêtement intermédiaire en plaques de plâtre.

conditions dont attestent les *Figures 4-5* et *4-6*, le *Tableau 4-1* montre la condensation maximale prédite dans le placage de brique, la première année. Dans tous les cas, l'humidité s'accumulera dans la brique d'une année à l'autre à moins qu'entrent en jeu le réchauffement solaire, la circulation d'air extérieur à travers la cavité, le vent et d'autres facteurs étrangers à EMPTIED. Les espaces entre les poteaux étant isolés, si l'isolant suffit pour éviter le mouillage du revêtement d'ossature, les risques d'augmentation de la condensation et du nombre d'heures sous le point de congélation imputables à l'ajout d'isolant se révèlent pratiquement négligeables.

Le *Tableau 4-2* montre que, pour Winnipeg, s'il y a suffisamment d'isolant pour protéger le revêtement intermédiaire en plaques de plâtre, les fuites d'air doivent être très faibles pour éviter la formation de condensation dans la brique. Il montre aussi que, par contraste avec les fuites d'air, la quantité d'isolant ne fait qu'une légère différence. Les zones ombragées du tableau indiquent les surfaces de fuite pour lesquelles EMPTIED prédit des augmentations annuelles de la condensation.

Et Toronto? Vous pourriez exploiter EMPTIED pour produire un guide plus imposant que le présent guide, rempli de tableaux qui répondraient à de telles questions. Une étude plus fouillée révélerait que pour la plupart des bâtiments situés à Winnipeg ou à Regina, un pare-air efficace, un degré d'humidité moindre l'hiver et des températures intérieures plus élevées en été constituent toutes des conditions requises pour que les murs bien isolés fassent fi de la condensation. À Montréal et à Toronto, aucune quantité d'isolant dans la cavité n'empêchera la formation de condensation due à l'air extérieur en été, avec ou sans isolant dans les espaces entre les poteaux.[6] L'augmentation d'isolant accroît également la période de présence constante de condensation de l'extérieur. On peut remédier à la situation en permettant aux températures intérieures de s'élever en été. À Vancouver et à Victoria, un pare-air s'impose surtout pour l'équilibrage de pression de l'*écran pare-pluie*, plutôt que pour l'élimination de la condensation.

La condensation ne constitue pas la seule source d'eau dans un mur. En effet, avant de présumer que l'ossature d'un *mur à écran pare-pluie* restera parfaitement sèche à tout moment, il vaut mieux prévoir l'inattendu. Les éléments qui laissent fuir de l'eau tels les bâtis de fenêtres, les canalisations de plomberie, les solins des murs en surélévation, ou encore des déversements sur le plancher sont toutes des possibilités qui, le cas échéant, causent suffisamment de dommages pour requérir des réparations plus ou moins étendues aux murs extérieurs à ossature d'acier.

6 C'est la valeur obtenue par EMPTIED, même si elle semble incongrue dans le contexte.

DÉPLACEMENT VIS-À-VIS LES APPUIS

La conception structurale du mur doit s'étendre au raccordement des poteaux à la structure de façon à respecter un critère de déplacement acceptable. Les raccordements soudés, les rails emboîtés de fort calibre et les connecteurs d'âme des poteaux représentent autant de possibilités qui ont été testées à McMaster. Pour un placage de brique, le déplacement poteau-structure vis-à-vis le raccordement supérieur n'est pas très appréciable, à moins que le placage soit calfeutré ou calé à la face inférieure de la cornière d'appui. En l'occurrence, le raccordement flexible des poteaux au rail supérieur pourrait ne pas être en mesure de porter la charge avant que soit surmontée la contrainte de la résistance à la friction ou du produit d'étanchéité entre le placage et la cornière d'appui, ou jusqu'à la fissuration du placage. Pour les revêtements intérieurs de finition et les revêtements extérieurs comme les systèmes d'isolation et de finition extérieurs ou les façades étanchéisées en stucco en étroit contact avec l'isolant, des déplacements autrement normaux des raccordements flexibles sont susceptibles d'endommager le revêtement de finition. Compte tenu des tolérances, le jeu requis à l'extrémité des poteaux peut être plus important que les 12 mm prévus lors des essais à McMaster. À mesure que le jeu requis augmente, la différence entre le fléchissement latéral des connecteurs d'âme et celui des doubles rails d'égale résistance s'accroît également. Le déplacement que le parement et les revêtements de finition peuvent tolérer doit faire l'objet d'estimations et être pris en compte dans les calculs du raccordement. Si la conception des raccordements est confiée à l'entrepreneur, alors le déplacement maximal sous l'effet d'une charge de calcul intégrale devra être spécifiée dans le cadre des exigences de conception.

Tableau 4-1 : Condensation hivernale dans le placage de brique et heures sous le point de congélation, en fonction de l'isolant, pour le pire mois.

Ville	Isolant Poteaux + cavité, mm	Heures sous 0 °C	Condensation dans la brique kg/m²
Winnipeg (Man.)	0 + 13	389	4,16
	0 + 25	496	4,43
	0 + 37	496	4,58
	0 + 50	496	4,67
	0 + 63	496	4,73
	0 + 75	496	4,78
	90 + 50	496	4,78
	90 + 63	496	4,47
	90 + 75	496	4,77
	90 + 87	496	4,85
	90 + 100	496	4,92
	90 + 113	496	4,94
Fredericton (N.-B.)	0 + 0	337	2,11
	0 + 13	337	2,61
	0 + 25	410	2,84
	0 + 37	410	3,03
	0 + 50	410	3,13
	0 + 63	410	3,19
	0 + 75	410	3,24
	90 + 37	410	3,03
	90 + 50	410	3,01
	90 + 63	410	3,18
	90 + 75	410	3,29
	90 + 87	410	3,35
	90 + 100	410	3,38
	90 + 113	410	3,40
	90 + 125	410	3,41

7 En raison de la façon dont EMPTIED traite les plans de condensation précisés par l'utilisateur, des erreurs sont probablement survenues lors du calcul de la condensation imputable à un débit d'air inversé causé par les températures intérieures basses ou les pressions négatives causées par un ventilateur.

***Tableau 4-2** : Condensation hivernale dans le placage de brique, en fonction des fuites d'air, pour le pire mois.*

Ville	Isolant, mm	Surface de fuite cm^2/m^2	Condensation dans la brique kg/m^2
Winnipeg (Man.)	0 + 13	0,75	4,16
	0 + 13	0,37	1,98
	0 + 13	0,19	0,95
	0 + 13	0,09	0,37
	0 + 13	0,05	0,14
	0 + 13	0,02	0,03
	90 + 50	0,75	4,78
	90 + 50	0,37	2,06
	90 + 50	0,19	0,96
	90 + 50	0,09	0,42
	90 + 50	0,05	0,20
	90 + 50	0,02	0,05
	90 + 113	0,75	4,94
	90 + 113	0,37	2,39
	90 + 113	0,19	1,18
	90 + 113	0,09	0,51
	90 + 113	0,05	0,24
	90 + 113	0,02	0,08

TOLÉRANCES

Béton

Pour les ouvrages en béton, il peut être plus facile de spécifier un contrôle dimensionnel plus serré et de l'exercer que de s'accommoder de la variation qu'autorisent les normes.

Acier et métaux divers

Pour respecter la position exacte que les normes exigent à l'égard de l'acier de construction, les éléments en acier requièrent des connecteurs réglables lorsqu'ils sont soutenus par du béton.

Maçonnerie

Les tolérances spécifiées par le code doivent être coordonnées avec les tolérances prévues pour le béton, l'acier et les poteaux d'acier pour que ce qu'on demande au maçon d'accomplir soit réalisable.

Poteaux d'acier

Le concepteur de structure doit déterminer le jeu minimal permettant le mouvement vertical de la structure du bâtiment sans que la charge axiale soit transmise au mur, en prévoyant les effets cumulatifs suivants :

- l'imprécision des poteaux taillés d'avance comparativement aux poteaux taillés sur mesure;
- la variation de la hauteur des ouvertures et de la longueur des poteaux en raison des tolérances permises;
- le fléchissement, sous l'effet des surcharges et des charges permanentes, de l'allège ou du chant de la dalle;
- le fléchissement par fluage à long terme de l'allège ou du chant de la dalle;
- les mouvements dus à la post-tension.

Des mouvements beaucoup plus faibles se produiront aussi en raison des facteurs suivants :

- le raccourcissement élastique des colonnes (en tenant compte de la séquence des travaux de construction vu que le mur peut être réalisé avant l'application de toutes les charges permanentes);
- le raccourcissement des colonnes par fluage à long terme.

Par contre, sur la hauteur d'un étage, il est peu probable que ces derniers effets soit appréciables.

LE DERNIER MOT?

La recherche à la SCHL et ailleurs se poursuit. On ne connaîtra jamais le dernier mot sur les répercussions des connaissances acquises à partir des résultats de recherche et de l'observation de la performance de bâtiments existants. Par contre, l'information aura toujours sa place.

Les perspectives actuelles s'ouvrent sur la recherche consacrée au profil de mouillage des bâtiments lors de précipitations de pluie poussée par le vent et sur les observations publiées dans les années 70 par le CNRC.[8] Mieux comprendre où la pluie poussée par le vent frappe les bâtiments permettra de mieux cibler les efforts en vue de la tenir en dehors des différentes parties de l'enveloppe, compte tenu de l'endroit. Certaines parties du mur n'ont peut-être pas besoin d'être constituées en *écrans pare-pluie* puisqu'elles ne se font jamais mouiller, alors que d'autres exigeront peut-être plus d'attention qu'elles reçoivent aujourd'hui, en raison de leur exposition.

L'investigation de la conception et de la performance des *écrans pare-pluie* se poursuit également. Bien que les variations de la pression extérieure au fil du temps aient été prises en considération ici, leur fréquence d'occurrence pourrait être envisagée de façon plus approfondie, et la variation spatiale de la pression extérieure sur la face du bâtiment pourrait être prise en compte. Les futurs essais en laboratoire, la mesure des vents, la mesure des pressions dans la cavité des bâtiments en service indiqueront plus précisément à quel point l'équilibrage de la pression de la cavité peut se réaliser en pratique et les dimensions des compartiments requis pour différentes parties du bâtiment. Une meilleure connaissance de la répartition spatiale et temporelle des pressions transitoires fera peut-être ressortir la nécessité d'aménager des compartiments de taille inférieure à ceux dont le choix reposerait sur la répartition des pressions fondées sur une moyenne temporelle.

Les tolérances, tant habituelles qu'économiquement possibles, constituent un autre secteur où de plus amples connaissances seront un atout précieux.

APPLICATION

Le chapitre 6 fait état des détails montrant comment faire pour concevoir un mur conforme à un ensemble particulier de critères environnementaux et structuraux.

8 Robinson et Baker, *Wind-Driven Rain and Buildings*.

CHAPITRE 5
ASSURANCE DE LA QUALITÉ

MISE EN SERVICE

Établir les détails d'exécution et le devis d'un mur soigneusement conçu ne suffit pas pour garantir que sa tenue en service répondra aux attentes à son achèvement. La mesure de l'épaisseur des matériaux, le poids du revêtement de zinc, les propriétés de la brique et du mortier, et l'inspection visuelle des composants manquants ou de modes d'assemblage inappropriés constituent tous des aspects raisonnablement bien compris de l'assurance de la qualité. Les normes visant les matériaux établissent des modes opératoires concernant l'acceptation ou le rejet de composants ou matériaux douteux, et les dessins d'atelier ou les documents contractuels indiquent comment procéder à leur assemblage. Par contre, il n'existe pas de méthodes largement reconnues pour vérifier les fuites d'air d'un mur exécuté, et pourtant la performance et la durabilité satisfaisantes du mur en dépendent. Toutes les précautions suivantes doivent être envisagées comme des moyens d'atteindre la performance escomptée.

Prototype

Vérifier l'étanchéité à l'air d'un prototype de mur à la pression voulue pour en déterminer la performance acceptable évite d'énoncer des buts irréalistes dans le contrat d'exécution. La pression d'essai doit correspondre à 50 ou 75 Pa, selon le matériel disponible et le degré d'étanchéité jugé acceptable. La valeur de 50 Pa représente la pression de référence utilisée dans le cadre de l'évaluation des maisons R-2000, de sorte que l'équipement faisant appel à un ventilateur de porte est expressément conçu pour fins d'emploi à cette pression. Une pression de 75 Pa s'avère certes difficile à maintenir, mais elle présente l'avantage d'être la référence de pression des exigences proposées pour l'édition 1995 du CNB. La capacité du prototype à résister à des charges de calcul dues au vent sans subir de dégradation doit également être éprouvée s'il y a possibilité de le faire sans engager des frais supplémentaires considérables. Ceux qui ont eu recours à l'ossature d'acier pour construire des plénums savent que des problèmes inattendus risquent de survenir dès la mise en marche des ventilateurs et l'application des pleines charges de calcul. Les constructeurs de murs devront peut-être attendre bien des années avant de constater leurs erreurs, à moins de tester un prototype. En procédant de la sorte, il pourrait surgir des difficultés que ne laissaient entrevoir ni les dessins ni les devis. À ce stade, elles peuvent se corriger sans engager de dépenses indues. L'inspecteur de l'étape d'exécution doit participer aux essais, pour tirer parti de l'expérience acquise lors de la construction et de la mise à l'essai du prototype. Si le prototype est soumis aux essais avant l'achèvement des épures et le lancement de l'appel d'offres, le concepteur aura l'assurance que le mur peut se construire et avoir la performance voulue, sans compter que les soumissionnaires n'auront pas à craindre de devoir respecter un critère de performance impossible à atteindre. Le cas échéant, faire appel à un spécialiste possédant de l'expérience préalable en construction et en mise à l'essai de murs essentiellement pareils pourrait se révéler plus profitable que tester un prototype.

Échantillon d'ouvrage

Dès que le choix s'est arrêté sur un constructeur, un échantillon d'ouvrage offre à l'entrepreneur l'occasion d'évaluer l'à-propos des méthodes de construction choisies, et de former le personnel en vue d'atteindre la performance attendue. Faute de tester le prototype ou de posséder au préalable de l'expérience avec le même genre de modèle, l'échantillon d'ouvrage permet de vérifier le modèle, sauf que les redressements nécessaires pourraient s'avérer coûteux à ce stade-là s'ils obligeaient à modifier le contrat. Des échecs répétés à satisfaire les exigences de performance seront évités si les travailleurs et les superviseurs responsables de l'exécution du reste des travaux réalisent l'échantillon d'ouvrage, sous

l'observation du personnel de conception ayant participé à la mise à l'essai du prototype. Construire l'échantillon d'ouvrage permet de peaufiner les méthodes de construction et le soumettre à des essais offre à l'entrepreneur l'occasion de vérifier la possibilité d'atteindre la performance requise.

Inspection des travaux en cours

L'inspection périodique des travaux en cours permet de déceler toute déviation par rapport aux méthodes de construction et matériaux testés et de faire face à toutes conditions particulières inattendues. L'endroit exact des poteaux et des cornières d'appui, des dispositifs de fixation et des points de raccordement et les marges de mouvement doivent faire l'objet d'une vérification périodique avant que le poseur de plaques de plâtre ne dissimule toute erreur ou omission et que le maçon désenchante en constatant les imprécisions.

Dernière inspection

Une vérification qualitative de tous les travaux achevés s'impose pour s'assurer qu'on n'a laissé passer aucune importante fuite d'air. Un générateur de fumée, un crayon fumigène, l'acoustique, la thermographie ou une combinaison de méthodes réussissent à déceler les importants problèmes que la sélection aléatoire de zones à soumettre à des essais qualitatifs n'aurait pas permis de découvrir. Les inspecteurs expérimentés sauront vers quoi se tourner pour obtenir les meilleurs résultats. Il est question de détection, non de la mesure de fuites d'air inhabituelles. Les méthodes employées n'importent qu'en fonction de leur efficacité à localiser des fuites d'un ordre de grandeur différant de la performance générale requise.

Essais de conformité

Une batterie complète de tests visant à mesurer l'étanchéité à l'air de zones choisies au hasard constitue le moyen le plus fiable d'en vérifier la conformité. Les zones testées doivent être représentatives, et non être choisies en fonction d'attentes à propos de zones particulières. Idéalement, suffisamment d'échantillons doivent être testés pour favoriser une évaluation statistique de leur variance. L'entrepreneur ne doit pas avoir l'occasion de scruter à la loupe une zone précisément désignée aux fins d'essais, pas plus que le concepteur ne doit prendre la liberté de tester une zone douteuse. Les zones habituellement fuyantes doivent être découvertes par le biais d'essais qualitatifs et corrigées avant l'étape finale. Si les étages du bâtiment ne sont pas subdivisés en pièces, il convient alors de tester l'étage au complet.

Une procédure à suivre concernant le dernier test, qui permet de vérifier si l'entrepreneur a pu égaler la performance d'étanchéité à l'air du prototype, est proposée par Gulay *et autres*.[1]

Dans un immeuble d'appartements présentant des plans identiques d'un étage à l'autre, un seul appartement peut être testé à l'aide d'un ventilateur servant à pressuriser (ou dépressuriser) l'appartement, grâce à un débit d'air mesuré, tout en ayant recours à des ventilateurs et capteurs de pression supplémentaires pour maintenir les conditions équivalentes dans les appartements voisins de gauche, de droite, au-dessus et en-dessous, de même que dans le corridor. S'il n'y a pas d'autres trajets menant à d'autres parties du bâtiment, le débit requis pour maintenir la pression dans l'appartement à l'essai correspond au débit traversant le mur extérieur. Avant d'effectuer le test, il faut obturer toutes les prises d'approvisionnement et les sorties d'évacuation du réseau de conduits. Compte tenu du critère de performance spécifié, peut-être faudra-t-il sceller les fenêtres, en prenant soin de ne pas sceller la jonction du dormant de la fenêtre et du mur, si le manque d'étanchéité à cet endroit est considéré comme faisant partie des fuites du mur. Bien que l'appartement et les locaux avoisinants soient équilibrés, l'usage d'un crayon fumigène permettra de détecter d'autres trajets possibles vers des locaux non équilibrés qui pourront être scellés après coup.

---

1 Gulay, Stewart et Foley, *Field Investigation Surves of Airtightness*.

CHAPITRE 6
DÉTAILS D'EXÉCUTION ET DEVIS

FICHIERS DESSINS CAO

Les détails d'exécution présentés ici sont stockés sous forme de dessins CAO sur le CD-ROM d'accompagnement.

Le mur montré a été conçu comme un *écran pare-pluie*. Les détails d'exécution sont censés donner suite aux points traités aux parties 2, 3 et 4. Les paramètres particuliers de conception sont arbitraires. Un modèle de bâtiment véritable réagirait différemment à une autre série de conditions particulières, puisque le milieu intérieur, l'environnement et le gros oeuvre diffèrent dans chaque cas et tous ces facteurs influent sur le calcul d'un mur à ossature d'acier et placage de brique.

GROS OEUVRE DU BÂTIMENT

Le gros oeuvre du bâtiment est en béton armé. Au pourtour du bâtiment, la distance séparant les colonnes représente environ 2,4 m. La hauteur entre la face inférieure de la dalle et le plancher est de 2 440 mm, et le soffite de la dalle structurale constitue le plafond fini adjacent au mur extérieur. Le concepteur de structure soutient que l'ossature murale doit tenir compte d'un mouvement vertical total de 5 mm, à mi-portée. Comme les planchers ne sont pas réalisés en béton précontraint par post-tension, aucun accès n'est requis aux chants des dalles structurales. Cette série de conditions tombe près de la limite inférieure du mouvement vertical que les raccordements du mur à ossature d'acier pourraient devoir accommoder. L'autre façon de réaliser le chant de la dalle, qu'illustre le Détail 2, permet au chant de la dalle de subir une flèche verticale de 15 mm, et de distancer les colonnes.

ISOLATION ET ÉTANCHÉITÉ

À l'endroit où se trouve le bâtiment, la présence de 75 mm d'isolant dans la cavité suffit pour éviter la formation de condensation sur le revêtement intermédiaire des espaces non isolés entre les poteaux. Des températures extérieures de -30°C sont possibles, mais peu fréquentes. C'est plus d'isolant qu'il n'en faut pour assurer l'isolation thermique, mais par souci d'efficacité énergétique, peut-être faudrait-il en ajouter davantage. Le degré d'humidité relative intérieure devrait être de 30 % ou moins, et la température intérieure normale de 22°C. Une membrane autocollante (de bitume modifié et de polyéthylène) tient lieu de pare-air, de pare-vapeur, et de solin de cavité. Avec ce pare-air disposé du côté extérieur, peu de fuites d'air devraient se manifester. Assurer l'étanchéité du pare-air autour des attaches de la brique revêtira un aspect important à cette fin. Le succès de cette démarche doit être corroboré en réalisant et en mettant à l'essai un prototype avant de faire un usage étendu des détails d'exécution. Réduire le volume de la cavité permet d'équilibrer la pression de la cavité, comparativement à la méthode des plaques de plâtre étanches à l'air. L'emploi d'isolant en mousse de polystyrène extrudé limite davantage le volume de la cavité.

Le revêtement intermédiaire en plaques de plâtre appuie le pare-air. Fixer le revêtement intermédiaire suivant les méthodes habituelles ne suffit pas pour garantir son assujettissement pour la durée du bâtiment. Si de violentes bourrasques parvenaient à déloger le revêtement intermédiaire, la situation serait plus sérieuse que si le bâtiment comportait un pare-air intérieur, puisque sa réparation obligerait à démanteler le mur. C'est pourquoi des dispositifs de fixation plaqués, disposés à entraxe de 100 mm, assujettissent le revêtement intermédiaire le long de chaque poteau, pour faire en sorte que le pare-air demeure en place sous des charges de calcul tenant compte du vent, de l'effet de tirage et des ventilateurs.

Étant constitué de mousse à cellules fermées, l'isolant se fixe plus solidement que d'ordinaire pour que les changements de pression d'air dans la cavité ne suscitent pas derrière l'isolant des pressions temporaires susceptibles de le déloger. L'isolant perméable à l'air ne nécessiterait pas d'être fixé de la sorte, mais requerrait d'autres rajustements en raison de l'accroissement du volume de la cavité. Quoi qu'il en soit, le mode de fixation doit pouvoir mettre l'isolant en contact uniforme avec la surface isolée dans le but de minimiser les vides entre l'isolant et le pare-air.

Des rondelles plastiques de marque déposée se fixant sur les attaches de la brique tiennent l'isolant rigide contre le revêtement intermédiaire, d'une attache à l'autre. Dans un climat doux, vu la quantité moindre d'isolant, les attaches de la brique seraient trop distancées pour fonctionner ainsi. On pourrait également opter pour des dispositifs de fixation mécaniques enfoncés dans le revêtement intermédiaire, testés pour faire en sorte qu'ils ne causent pas une rupture d'étanchéité du pare-air.

Il y aura rarement risque de condensation sur l'arrière du revêtement intermédiaire. Par conséquent, le revêtement de zinc Z275 est suffisant pour les composants en tôle d'acier, à part les attaches de la maçonnerie, sans compter que les dispositifs de fixation d'acier sont plaqués zinc. Il ne se trouve aucune pellicule de polyéthylène derrière les plaques de plâtre intérieures, si bien qu'aucune mesure particulière n'est suivie pour assurer l'étanchéité des plaques. Le pare-air sert également de pare-vapeur. Si les fenêtres ou les canalisations de plomberie fuient, ou s'il y a de l'eau sur le sol, l'eau qui parvient dans les espaces entre les poteaux aura l'occasion de s'évaporer. Le rail inférieur pourrait être fabriqué d'acier galvanisé plus épais pour tenir compte de l'humidité qui pourrait s'y accumuler. L'espace variable habituel est laissé tel quel au bas des plaques de plâtre du côté intérieur, et les joints sont pontés seulement selon les besoins pour les fins de décoration et de résistance au feu. On s'abstient de poser des plaques de plâtre intérieures à l'intersection des cloisons et du mur extérieur, et dans les vides techniques, sauf pour les besoins de résistance au feu. Les plaques de plâtre intérieures se vissent selon l'espacement standard.

MARGE DE MOUVEMENT

La marge de mouvement est moindre que celle généralement nécessaire. Le joint libre de 10 mm sous la cornière d'appui prévoit un fléchissement de la dalle et un raccourcissement par fluage des colonnes de 5 mm, correspondant à l'espacement des colonnes de pourtour et aux dimensions d'un étage à l'autre d'environ 2,5 m, 1,5 mm pour la dilatation de la brique selon le vieillissement, et 3,5 mm pour la bonne mesure. Prévoir la pleine marge de 5 mm dans tous les cas tient compte de la possibilité qu'un étage puisse porter les surcharges intégrales mais non les étages voisins. Dans le but de recourir à un produit d'étanchéité plutôt qu'à des solins, un joint de 20 mm ou plus serait requis entre la cornière d'appui et le dessus de la brique, compte tenu de la compression que le produit d'étanchéité choisi pourrait tolérer.

Le jeu minimal de 5 mm entre le chant supérieur des plaques de plâtre et le soffite, et entre l'aile du rail externe et la tête de vis la plus élevée où les poteaux sont fixés au rail interne autorise le mouvement du gros oeuvre. Le fabricant du pare-air indique que la membrane peut s'accommoder d'un tel jeu et permettre le mouvement attendu.

Si les poteaux sont taillés à la longueur prévue pour tenir compte des tolérances indiquées par rapport à leur emplacement sur la dalle, alors en plus du mouvement structural, il faudra ménager un jeu pouvant aller jusqu'à 45 mm entre l'extrémité du poteau et la dalle. Ce jeu ne tient aucunement compte de la tolérance de coupe des poteaux. L'agencement montré des rails emboîtés ne peut autoriser un jeu aussi important, à moins que le rail

externe soit d'assez forte épaisseur. Un rail d'acier trop léger donnerait cours à un mouvement vers l'intérieur trop prononcé sous l'effet de charges intégrales dues au vent. Par conséquent, les poteaux doivent être prétaillés le plus long possible, quitte à en tailler de nombreux au moment de leur mise en oeuvre.

Le joint libre entre le dessus du placage et la face inférieure de la cornière d'appui, derrière le solin, assure la ventilation supplémentaire de la cavité protégée de l'eau en surface, et évite de faire obstacle au fléchissement latéral du placage. Il n'y a pas de joints verticaux ouverts pour la ventilation, étant donné que les essais en laboratoire indiquent qu'ils permettent à l'eau de pénétrer dans la cavité, même avec l'équilibrage de la pression, lorsque la pluie y est poussée par le vent. L'eau qui s'infiltre par les joints pendant une précipitation de pluie constitue une plus grande menace que la vapeur d'eau qui ne réussit pas à s'échapper par le même trajet dans des conditions d'assèchement.

CORNIÈRE D'APPUI

La cornière d'appui s'aligne sur l'élévation nominale du soffite de la dalle, permettant ainsi d'aménager des fenêtres de façade sans linteau ou de disposer des rangs de briques entre la fenêtre et la cornière d'appui. La cornière pourrait être inversée pour éviter les difficultés avec les solins aux points de raccordement, et, au besoin, de permettre l'accès aux points d'ancrage de post-tension.

Le raccordement de la cornière d'appui montré prévoit suffisamment d'exactitude pour éviter les ondulations inesthétiques de la maçonnerie, tout en autorisant toutes les positions sur le chant de la dalle que prévoient les tolérances. La tolérance de la cornière d'appui correspond généralement à la tolérance spécifiée à l'égard des éléments d'ossature d'acier réglables. Cet emplacement assure également une séparation thermique du chant de la dalle. Le Détail 2 montre une cornière d'appui calée et enduite de coulis, sans séparation thermique.

La face du revêtement intermédiaire s'aligne, en théorie, sur le chant de la dalle de façon à permettre une marge d'ajustement supplémentaire au cas où le chant de la dalle serait en position extrême vers l'intérieur. Lorsque la dalle a subi son plein retrait, le rail inférieur fait quelque peu saillie, mais la distance minimale entre le dispositif de fixation et le chant de la dalle permet toujours d'enfoncer des vis à béton.

Aux angles, la cornière d'appui est taillée à onglets, puis soudée. Les joints de la cornière d'appui sont situés vis-à-vis les joints de fissuration ou les compartiments à proximité des angles, et à intervalles le long du mur, pour réduire la soudure sur place. Dans les régions humides, pluvieuses ou côtières, où l'utilisation d'une cornière d'appui galvanisée pourrait s'imposer, il vaudrait mieux procéder à des raccordements boulonnés que soudés.

ATTACHES DE LA BRIQUE

Les attaches de la brique se fixent aux côtés des poteaux, au moyen de dispositifs travaillant en cisaillement (plus résistants que les dispositifs agissant en tension). Les attaches ne causent pas de flexion locale aux ailes des poteaux, et la torsion des poteaux se trouve du même coup réduite. Lorsque les attaches traversent le revêtement intermédiaire, le pare-air se colmate à l'aide de pièces de membrane autocollante. La galvanisation des attaches se fait après leur fabrication, puisque la cavité présente plus d'humidité que les espaces entre les poteaux. En région côtière, les attaches devront être en acier inoxydable. Les attaches assurent une rigidité maximale suivant une marge de réglage et transmettent directement la charge à l'âme des poteaux. Les attaches

sont espacées conformément aux exigences de la norme CAN3-A371[1], mais sont conçues de sorte que la rangée supérieure des attaches porte 50 % de la charge due au vent pour un étage, de manière à garantir qu'elles ne seront pas surchargées avant que le placage se fissure.[2] Des attaches supplémentaires vis-à-vis les ouvertures et les chants sont placées à 200 mm du chant du placage. Des poteaux supplémentaires sont placés à ces endroits pour soutenir les attaches rajoutées.

CAVITÉ

Avec un placage de brique, la largeur nominale de la cavité est de 50 mm, et de l'eau s'y infiltrera par gravité, en dépit de l'*écran pare-pluie*. Pour réduire cette possibilité, les évents de la cavité ne se trouvent qu'à l'endroit de la corniere d'appui; le joint sous la corniere d'appui est protégé par le solin au-dessus. (Dans les essais effectués par Drysdale, les évents situés au-dessus du bas de la cavité ont laissé admettre des quantités d'eau considérables.)[3] En revanche, le joint pourrait être calfeutré, auquel cas on pourrait ajouter des joints ouverts ou des évents pour favoriser la ventilation, à condition de les abriter. Un raccordement plus rigide en partie supérieure des poteaux pourrait aussi s'avérer nécessaire, vu que le produit d'étanchéité permettrait moins de mouvement latéral. D'une façon ou de l'autre, l'eau ruisselant le long de la face extérieure n'aura pas beaucoup le loisir de s'infiltrer par le haut de la cavité par mouvement gravitaire. Si elle s'introduit par les évents vis-à-vis la corniere d'appui, elle rencontrera sur son passage le solin qui doit de toute manière être tout à fait scellé.

Pour éviter qu'elle soit obstruée par des bavures de mortier et des débris, la cavité peut être remplie au bas, pour les premières assises, de gravier s'asséchant bien. Cette méthode s'inscrit parmi plusieurs des recommandations formulées par Drysdale et Suter[4], et a été en usage dans certains cas pendant plusieurs années sans occasionner d'effets manifestement défavorables. Plusieurs autres méthodes couramment spécifiées dans le passé se révèlent moins satisfaisantes. Faire monter une planche par la cavité pourrait fonctionner si les attaches étaient posées progressivement, et si la cavité avait toujours les mêmes dimensions, mais tel n'est pas le cas. Une difficulté risquerait de surgir à un moment inopportun, puisqu'en retirant les cordes lorsque le mortier est encore plastique, il serait possible que les trous soient obturés ultérieurement. Lorsque l'appareil de brique atteindrait la hauteur d'un étage, le mortier au bas aurait durci de sorte que la corde resterait emprisonnée. Une autre méthode qui, rapporte-t-on, fonctionne bien consiste à ne pas poser la troisième brique de la première assise, tant que l'excédent de mortier n'a pas été retiré par les ouvertures ainsi pratiquées. Cette mesure permet d'inspecter la cavité tout juste avant de bloquer les ouvertures.

Aux angles, et à des intervalles de 10 m (qui coïncident avec tous les autres joints de dilatation de la brique), des déflecteurs verticaux limitent le volume de la cavité et garantissent le maintien de l'équilibrage de la pression. Le logiciel RAIN a été utilisé pour évaluer cet espacement. Des évents plus importants ou plus fréquents seraient nécessaires, peut-être avec d'autres compartiments, si de l'isolant fibreux était employé, puisque son volume est surtout constitué d'air, ou l'adoption de la technique des plaques de plâtre étanches ajouterait le volume des espaces entre les poteaux à

---

1 CAN3-A371, *Construction de bâtiments en maçonnerie*.

2 En vertu de la norme CAN/CSA S304, *Masonry Design for Buildings*, toutes les attaches doivent être capables de porter une charge égale à 40 % de la charge tributaire sur une surface égale à la hauteur du mur multipliée par l'espacement des poteaux. Le concepteur de structure a l'option de rendre la rangée supérieure d'attaches plus résistante dans le cadre de son analyse de rigidité détaillée.

3 Drysdale et Wilson, McMaster, Part 5.

4 Drysdale et Suter, *Construction des murs extérieurs de bâtiments de grande hauteur*.

celui de la cavité. Les cornières d'appui tiennent lieu de déflecteurs horizontaux. La cornière d'appui au niveau du toit et les doubles déflecteurs aux angles créent des compartiments plus petits aux points où les pressions extérieures varient considérablement sur de petites distances et où la pluie poussée par le vent frappe avec plus d'intensité, comparativement au reste de la façade.

CONSIDÉRATIONS STRUCTURALES

Les raccordements soudés valent la peine d'être considérés pourvu que l'on puisse compter sur les services de spécialistes en soudure de tôle d'acier et le matériel approprié.

La spécification relative à l'épaisseur minimale des poteaux correspond à 1,22 mm ou à celle qui est choisie dans la table du fabricant en fonction d'une flèche de L/720, si elle est supérieure. L'épaisseur et le raccordement de tous les composants mériteront l'attention soutenue d'un ingénieur de structure à l'étape des dessins d'atelier. Le placage qui ne comporte pas d'ouverture fissurera à peu près à la surcharge de calcul due au vent. Le cas échéant, la largeur des fissures et l'infiltration consécutive d'eau dans la cavité seront acceptables pourvu que l'*écran pare-pluie* parvienne à équilibrer la pression. L'ingénieur responsable des dessins d'atelier calculera et établira les détails d'exécution du raccordement en partie supérieure et le renfort supplémentaire vis-à-vis les ouvertures, mais il est peu probable qu'il opte pour des poteaux d'une épaisseur supérieure au minimum spécifié.

DÉTAIL 1 - CHANT DE LA DALLE

La plupart des particularités de ce détail d'exécution ont déjà été mentionnées. Les notes décrivant les aspects répétés ailleurs n'apparaissent en général qu'ici, si bien qu'ils ne sont pas reproduits dans d'autres dessins d'exécution.

Tolérances

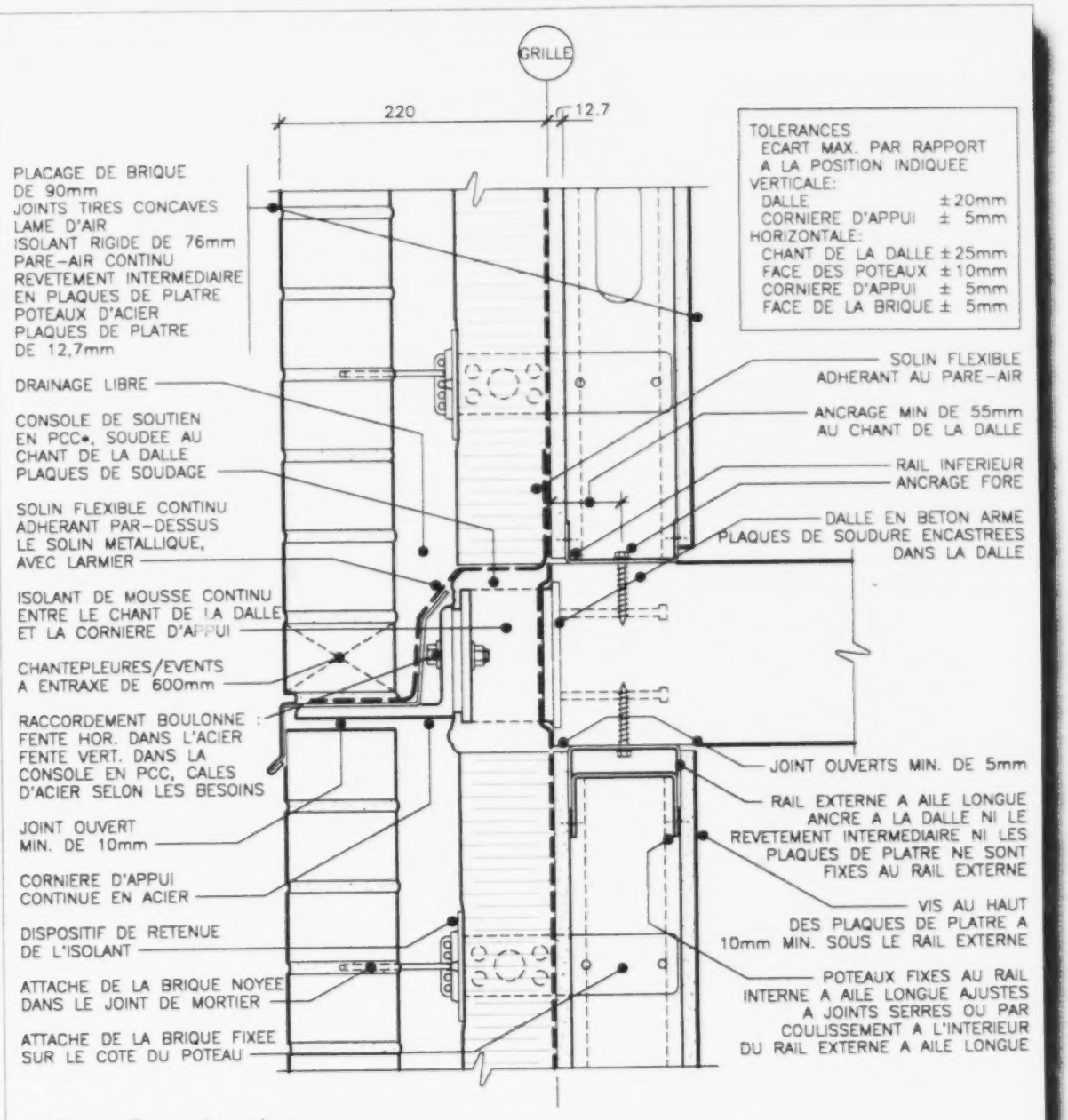
L'exécution est possible, sans en compromettre la fonction, lorsque les composants se trouvent à l'intérieur des marges indiquées. Tous les composants sont montrés en position nominale. Dans des cas précis, la face des poteaux pourrait être de 22,7 mm plus à l'intérieur que le montre la grille, le chant de la dalle de 2,3 mm encore plus vers l'intérieur, ou encore faire saillie de 47,7 mm vers l'extérieur par rapport à la face des poteaux. Le vide d'air, de 54 mm selon les indications, pourrait réellement varier de 39 mm à 69 mm. Ces valeurs extrêmes sont conformes aux tolérances précisées dans les normes correspondantes, sauf que la structure de béton a droit à plus de latitude, d'après l'expérience et le taux de rejet qu'implique l'annexe de la norme CSA A23.1. Les cornières d'appui doivent être soigneusement fixées et réglées avant la mise en place de l'ossature d'acier, pour que leur bout serve de repère pour l'ossature. Une variété de tailles d'attaches métalliques permet de couvrir la gamme complète de dimensions de la cavité. Mettre en place l'ossature métallique en prenant la mesure depuis le chant de la dalle, plutôt que le bout de la cornière d'appui réglée, rendrait impossible la tâche d'assurer une lame d'air raisonnable et l'aspect rectiligne du mur extérieur.

Isolation du chant de la dalle
L'isolant derrière la cornière d'appui ne peut pas marquer le prolongement de l'isolant mural, puisque l'espace varie et qu'il n'est pas nécessairement aligné avec le revêtement intermédiaire. S'il faut prévoir des coupe-feu, l'isolant pourrait très bien être constitué de mousse de silicone résistant aux variations de température. Autrement, de l'isolant en matelas pourrait très bien être préféré à la mousse isolante montrée. Par contre, la mousse d'uréthane assure la meilleure isolation thermique, puisqu'elle épouse étroitement l'espace et lui confère une valeur de résistance thermique (R) équivalente à celle du mur, même si le vide est inférieur à la moyenne.

Attaches
Les attaches illustrées procurent deux avantages. Les attaches fixées à l'âme des poteaux ont donné lieu à la meilleure performance lors des essais structuraux menés par Drysdale. Sur le plan thermique, elles offrent une masse et une surface plus grandes à l'intérieur qu'à l'extérieur. Comme le mouvement de chaleur cheminant par le pont thermique dépend de sa section et de la différence de température, il importe peu que le pont soit froid ou chaud. Le côté chaud ou le côté froid où se trouve la majorité de la masse et de l'aire surfacique détermine la température. Ces attaches seront relativement chaudes, comparativement aux attaches présentant plus de matière et d'aire surfacique du côté extérieur, malgré un mouvement de chaleur égal. Leur principal inconvénient réside dans le fait que chaque attache risque de rompre l'intégrité du pare-air, rendant ainsi certains types de pare-air difficiles sinon impossibles à mettre en oeuvre.

Solins
Le solin métallique soutient le solin flexible là où il comble la cavité. Les joints sont à chevauchement, mais son scellés, puisque le solin flexible a pour fonction d'évacuer l'eau. À l'extérieur, le métal joue le rôle de larmier et protège le joint ouvert au sommet du placage en dessous, empêchant l'eau ruisselant sur la façade du bâtiment de s'introduire dans la cavité. Près du sommet du bâtiment, où la pluie entraînée par l'air en mouvement pourrait remonter, il convient de songer à poser un solin plutôt du genre illustré pour le couronnement du mur en surélévation illustré au Détail 6, en assurant un plus grand chevauchement sur la brique et un joint étanche derrière le larmier.

Fixation du rail à la structure
Les dispositifs fixant le rail à la structure doivent être choisis par l'ingénieur responsable de la conception de l'ossature d'acier, en consultation avec le fournisseur. Les ancrages des poteaux ou les vis à béton sont les dispositifs le plus susceptibles d'offrir une performance satisfaisante si près du chant de la dalle. La distance de rive de 50 mm illustrée vaut pour des dispositifs de dimensions et de types particuliers. Le choix doit se porter sur des dispositifs qui rempliront leur fonction compte tenu de la distance de rive disponible suivant la pire combinaison de positions admises de la dalle et des poteaux.



***Détail 1** : Chant de la dalle*

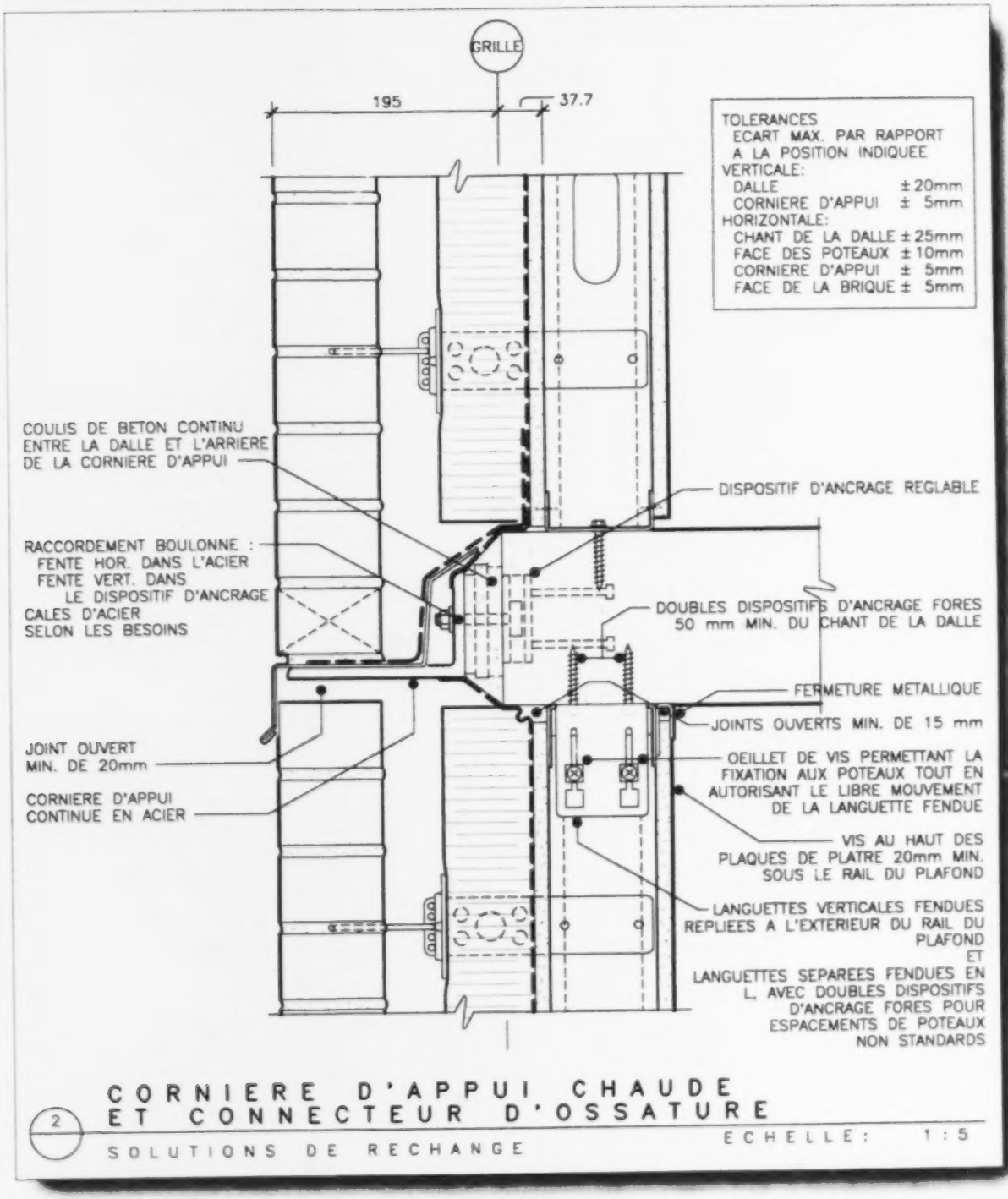
DÉTAIL 2 - CORNIÈRE D'APPUI CHAUDE ET CONNECTEUR D'OSSATURE

Ce détail d'exécution illustre deux méthodes qui n'ont pas à aller de pair : une cornière d'appui chaude et un connecteur d'ossature assurant une plus grande capacité de mouvement et rigidité latérale.

Cornière d'appui
Il faut disposer d'un moyen quelconque pour régler la position de la cornière d'appui par rapport à la position variable du chant de la dalle pour garantir l'alignement de la maçonnerie extérieure, sauf qu'isoler l'espace derrière la cornière d'appui n'est peut-être pas souhaitable. Si le budget énergétique du bâtiment le permet, les déperditions de chaleur vis-à-vis la cornière contribueront à éviter le gel au bas de la cavité tout en favorisant le drainage, bien que dans des climats froids, elles procurent une sensation de plancher froid. L'espace de calage favorise les réglages. Le coulis assure un contact thermique et fait obstacle à la rotation de la cornière d'appui. Comme pour le détail d'exécution précédent, on pourrait faire usage d'une cornière à pose inversée.

Connecteur d'ossature
Le connecteur illustré constitue l'un de plusieurs dispositifs de marque déposée conférant une plus grande rigidité latérale que les rails emboîtés. Ce connecteur assure un raccordement rigide puisqu'il se fixe à l'âme des poteaux. Chaque poteau se raccorde directement à la structure. Les fentes permettent de donner libre cours au mouvement vertical et de prétailler plus facilement les poteaux tout en évitant les situations où ils se révèlent trop longs ou trop courts. En l'occurrence, le dessin montre une marge de mouvement structural de 15 mm. Pour prévoir 5 mm de dilatation de la brique, un joint ouvert de 20 mm est requis derrière le solin, ou encore un joint calfeutré de 40 à 60 mm, selon le produit d'étanchéité choisi.

Solins
Les solins couvrant le joint en dessous de la cornière d'appui, quoi qu'on pense de leur aspect, offrent certains avantages. Le joint au sommet du placage est réduit, passant d'au moins 40 mm à seulement 20 mm dans ce cas, et il offre accès à la cavité pour les fins d'équilibrage de la pression et de la ventilation. Il empêche l'eau qui ruisselle sur la face du mur de parvenir jusque dans la cavité. Un désavantage est qu'au sommet du bâtiment, sous l'effet combiné du vent et de la pluie, la direction du mouvement sur la face peut prendre une allure ascendante et risquer de pousser l'eau sous le solin. Au-dessus du point de stagnation, ce problème peut se régler en appliquant un cordon d'étanchéité derrière le solin et en accroissant la fréquence des chantepleures ou évents ou encore en réduisant les dimensions de la cavité.



***Détail 2** : Cornière d'appui chaude et connecteur d'ossature*

DÉTAIL 3 - DESSUS ET APPUI DE LA FENÊTRE

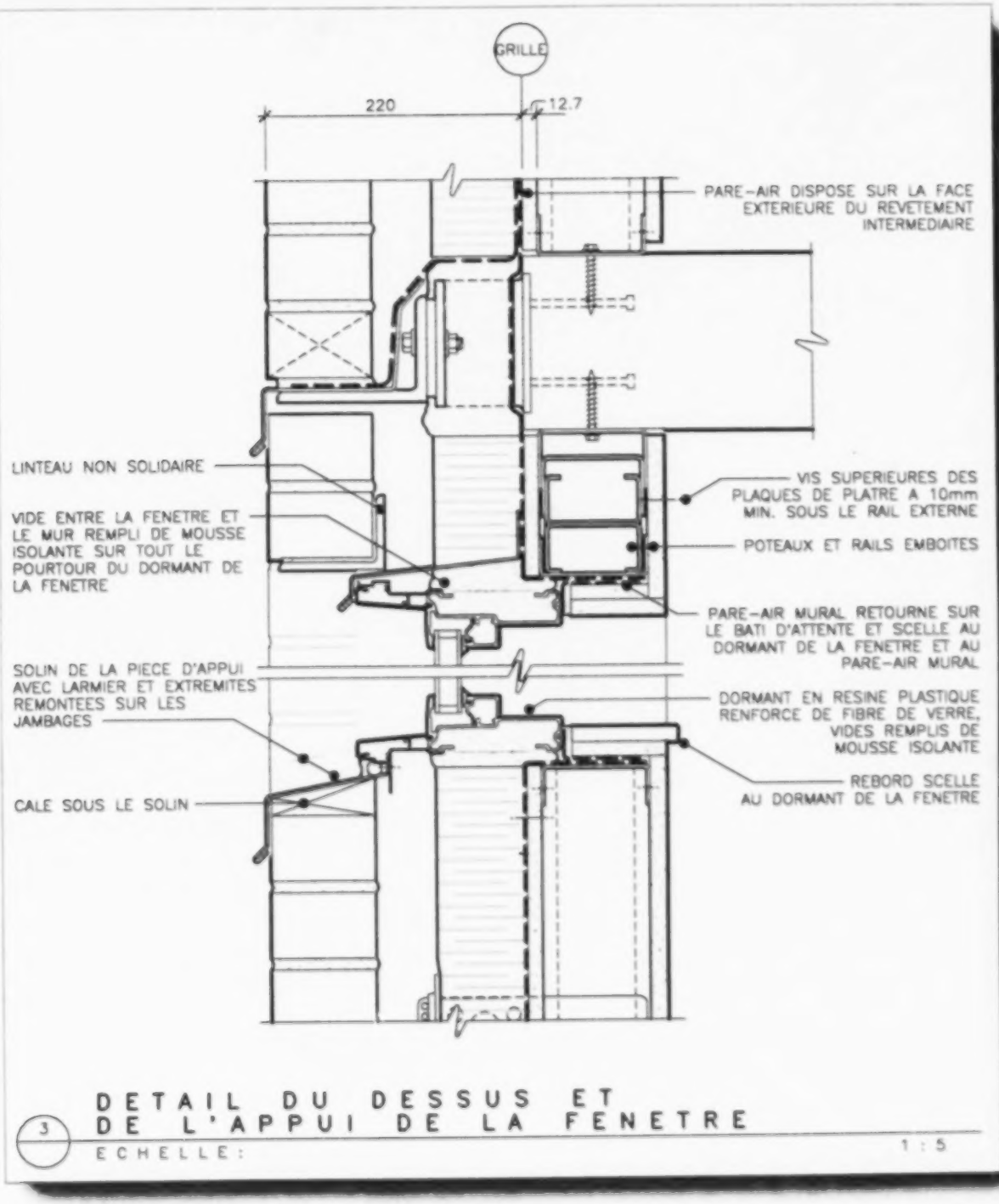
Il s'agit ici d'une fenêtre individuelle. Les ouvertures pratiquées dans une ossature influent sur la performance structurale du mur. Par souci d'optimalisation, le concepteur de structure doit considérer tous les panneaux muraux extérieurs ainsi que les dimensions et l'emplacement des ouvertures. Lors des essais de Drysdale, la charge provoquant la première fissure était beaucoup plus faible dans un mur avec fenêtre que sans fenêtre, tout comme l'ampleur des fissures sous l'effet de la charge de calcul, même lorsque les montants du bâti d'attente étaient jumelés. Le programme de Chidiac offre à l'ingénieur de structure un outil pour envisager chaque cas selon ses propres mérites et ainsi faire en sorte que le placage, les attaches et les poteaux de chaque panneau type agissent ensemble.

Linteau
Le linteau non solidaire porte le placage au-dessus de l'ouverture.

Place des fenêtres
Les règles de conception de la plupart des fenêtres destinées aux bâtiments résidentiels prévoient un mur à ossature de bois isolé, dépourvu d'isolant à l'extérieur. La fenêtre est alignée sur l'isolant lorsque la bride de fixation est clouée au revêtement intermédiaire. Conformément à ce dessin d'exécution, aligner la fenêtre sur l'isolant oblige à la monter en saillie par rapport aux poteaux au moyen de consoles destinées à l'assujettir au bâti d'attente. Peut-être qu'un fabricant de fenêtres songera un jour à pourvoir une fenêtre d'une bride de fixation bien située à cette fin. Quant à la plupart des fenêtres offertes dans le commerce, le pare-air doit envelopper les éléments du bâti d'attente pour pouvoir être scellé au dormant de fenêtre depuis l'intérieur après l'isolation du pourtour de la fenêtre. L'exécution d'angle d'un tel dormant de fenêtre doit être revu attentivement de manière à s'assurer que toute humidité de la cavité qui parviendrait sur le dessus de la fenêtre s'écoulerait le long des côtés, et ne s'introduirait pas dans l'ossature par les jambages ou à l'intérieur. Le couvre-joint extérieur standard prévu en partie supérieure est modifié en fonction de la pose du solin qui intercepte l'humidité de la cavité et l'évacue au-dessus de la fenêtre.

Appui
Le solin de la pièce d'appui, qui remonte aux extrémités, derrière le couvre-joint extérieur, empêche l'eau de se drainer à l'extrémité et de s'infiltrer sous le solin. Le solin monopièce préfabriqué permet de ménager un joint dimensionné aux joints de mortier à chaque extrémité, pour ainsi prévoir une certaine tolérance et un cordon d'étanchéité entre le solin et la brique.

Rebord
Si les fenêtres ont été bien choisies, il suffit, pour éviter la condensation, d'aménager un rebord imperméable uniquement en fonction des plantes en pots qui seraient trop arrosées.

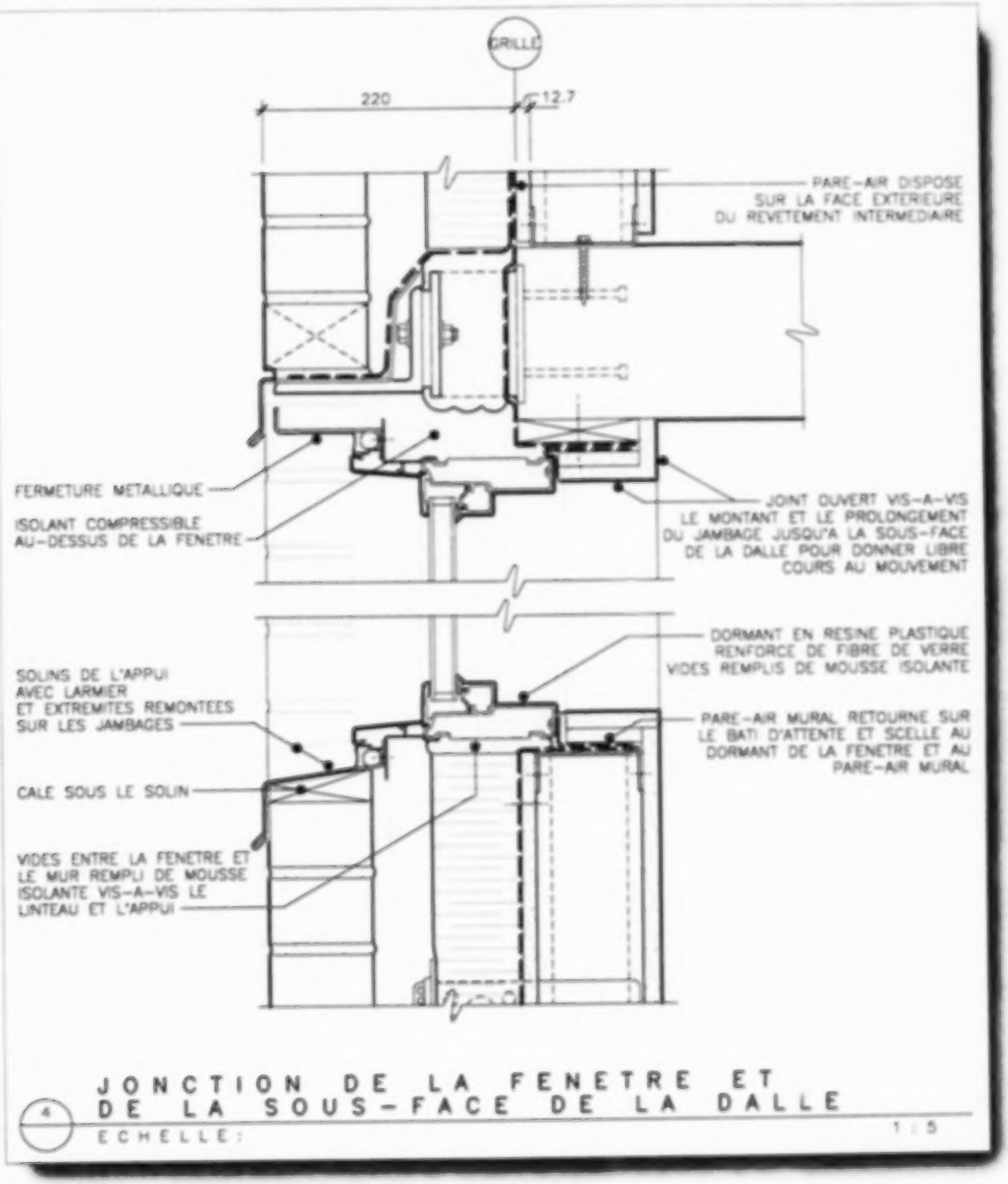


***Détail 3** : Dessus et appui de la fenêtre*

DÉTAIL 4 - JONCTION DE LA FENÊTRE ET DE LA SOUS-FACE DE LA DALLE

Il s'agit toujours d'une fenêtre individuelle, mais disposée cette fois le plus près possible du plafond. Des fenêtres groupées requerraient des supports structuraux s'étendant d'une colonne à l'autre sous l'appui, ou des membres profilés à chaud en porte-à-faux depuis la dalle de plancher, avec différentes marges de mouvement structural et mode de fixation des fenêtres, et une cornière alignée sur l'appui pour tout panneau de brique entre les fenêtres.

La fenêtre se fixe au mur, sauf que les plaques de plâtre au-dessus de la fenêtre se fixent à la dalle. Par conséquent, il faut prévoir des joints alignés sur les deux jambages, se prolongeant jusqu'à la sous-face de la dalle et au-dessus de la fenêtre, entre le dormant de la fenêtre et les plaques de plâtre, pour prévoir tout mouvement du plafond et des plaques de plâtre qui y sont fixées par rapport au mur et au dormant de la fenêtre.



***Détail 4** : Jonction de la fenêtre et de la sous-face de la dalle*

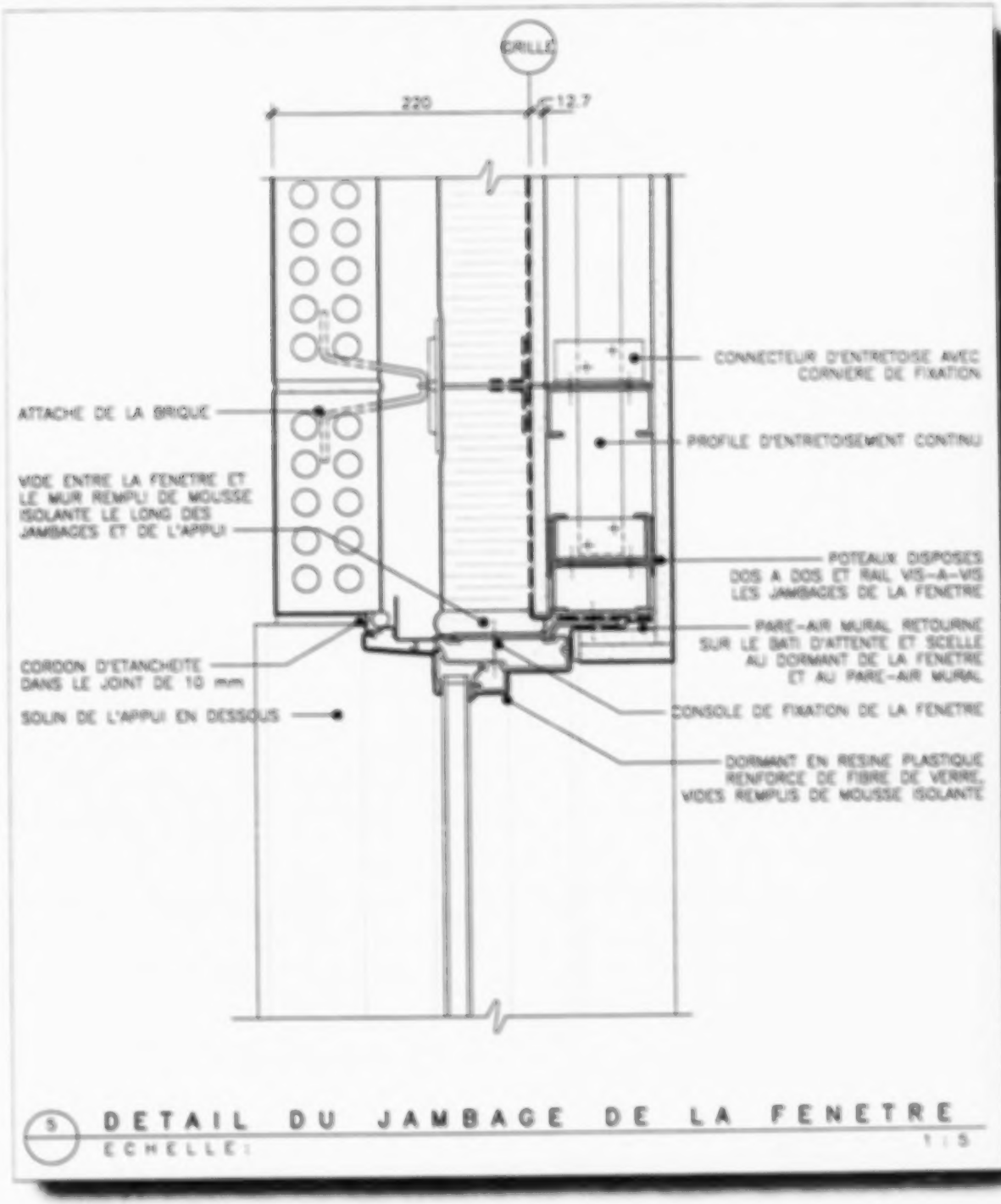
DÉTAIL 5 - JAMBAGE DE LA FENÊTRE

La fenêtre repose sur des consoles métalliques assujetties au jambage de la fenêtre et aux poteaux jumelés du bâti d'attente (les règles de conception structurale pourraient dicter autre chose que des poteaux jumelés). La fenêtre se pose après que le pare-air enveloppe les éléments du bâti d'attente. Le raccordement à la fenêtre se fait avec des bandes supplémentaires de pare-air posées de l'intérieur, par-dessus les consoles.

Un poteau supplémentaire et des attaches soutiennent le chant du placage de part et d'autre de l'ouverture, à une distance de 200 mm. L'étanchéité à l'air à l'endroit des attaches est assurée en scellant des bandes de pare-air à chacune des attaches et au pare-air et en les scellant les unes aux autres au-dessus et au-dessous des attaches.

Les entretoises de l'ossature se fixent mécaniquement ou se soudent aux poteaux.

La mousse isolante au pourtour de la fenêtre peut être remplacée par de l'isolant en matelas bourré dans l'espace entre le dormant de la fenêtre et l'isolant de la cavité. Par contre, la conductivité thermique plus élevée de l'isolant fibreux pourrait abaisser la température des chants du vitrage sous le point de rosée intérieur.



Détail 5 : Jambage de la fenêtre

DÉTAIL 6 - MUR EN SURÉLÉVATION DE FAIBLE HAUTEUR

Cornière d'appui

Deux raisons motivent la pose d'une cornière d'appui le long de la ligne du toit. S'il n'y en avait pas, le placage de brique serait fixé au sommet de l'ossature et au mur en surélévation. Ces deux éléments fléchissent différemment en réaction aux surcharges de neige et de vent. Le fléchissement latéral attribuable au vent est habituellement à son maximum en partie supérieure du raccordement des poteaux. En l'absence d'une cornière d'appui, une analyse structurale approfondie s'impose pour éviter les risques de fissuration excessive du placage. La cornière d'appui répartit également la cavité en deux zones soumises à différents régimes thermique et hygrométrique. La cavité du mur en surélévation n'est pas chauffée ni sujette à recevoir de l'eau de condensation due aux fuites d'air. Dans la cavité murale, il se produit des déperditions de chaleur en provenance du mur, ainsi que des fuites d'air. Si les deux cavités étaient reliées, un courant de convection dans le vide d'air risquerait de transporter de l'humidité dans le mur en surélévation et de favoriser la concentration de condensation à cet endroit.

Isolant

Dans le cas d'un mur en surélévation isolé, où l'isolant en épouse la forme, le concepteur tient pour acquis que la structure du mur en surélévation restera chaude en raison de l'isolant thermique. Une analyse bidimensionnelle du mouvement de chaleur montrerait probablement qu'il n'en est rien, à moins que le mur en surélévation soit très bas ou fabriqué de matériaux très conducteurs. Le cas échéant, le chant de la dalle du toit restera toujours froid, parce que la plaque de soutien du mur en surélévation fait fonction de pont thermique, mais pas plus froid qu'il le serait s'il s'agissait d'un mur en surélévation creux isolé. Le concepteur pourrait faire appel à un mode de raccordement de rechange prévoyant une coupure thermique si la température de la dalle demeurait un motif de préoccupation.

Soutien

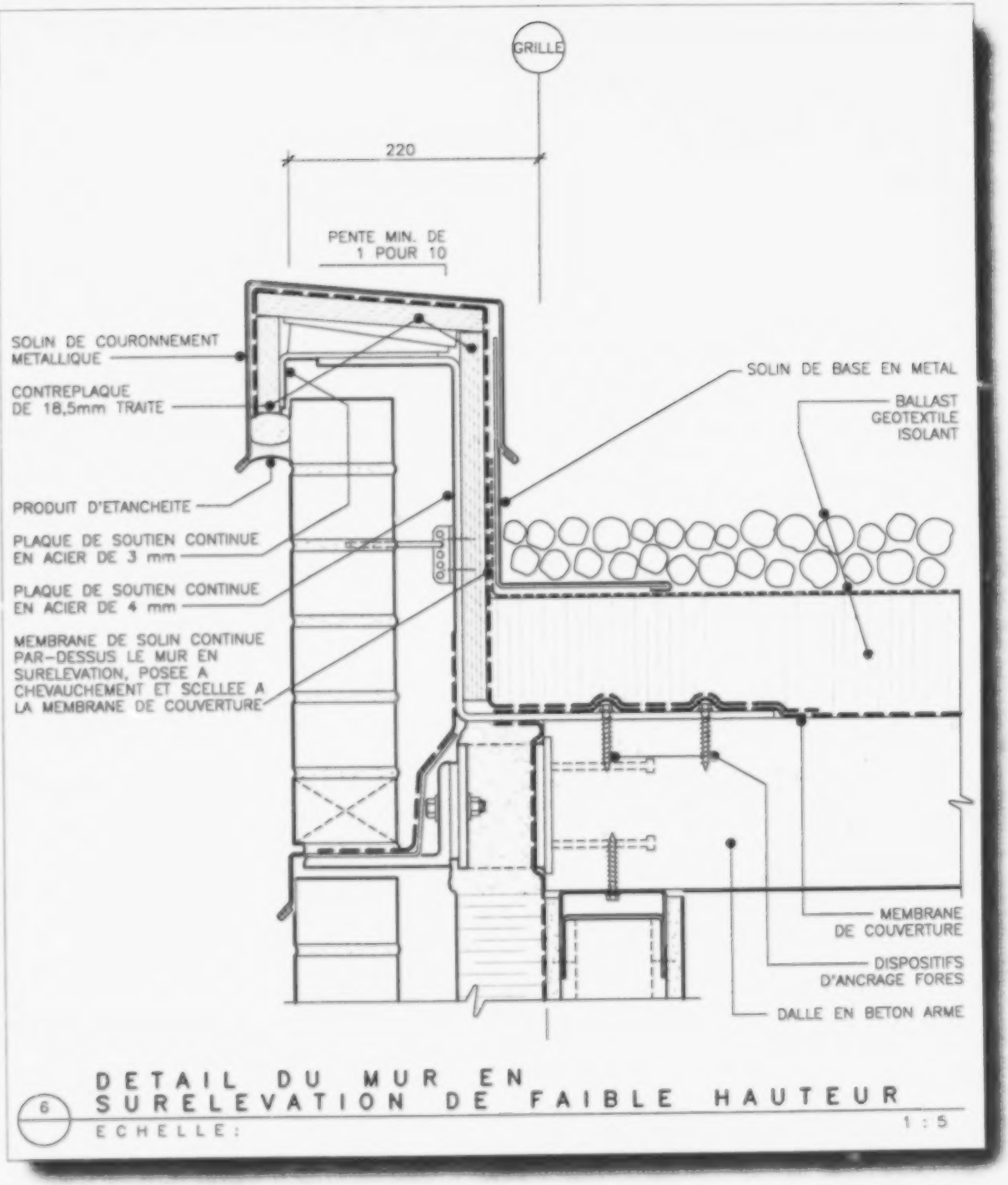
La plaque de soutien pliée illustrée pour le mur en surélévation est suffisamment robuste pour résister aux impacts des chariots de gravier et permettre aux échafaudages en porte-à-faux d'y rester. Un mur en surélévation creux, à ossature d'acier, ne pourrait pas tenir le coup, ou même résister aux surcharges dues au vent, à moins d'être pourvu sur le dessus d'appuis structuraux en acier ou en béton fixés à la dalle du toit. Un tel mur étroit requiert moins de solin et peut être placé pour tenir compte de la tolérance admise pour l'endroit du chant de la dalle, en plus d'être autoporteur.

Compartimentation

À l'instar des cavités murales, la cavité du mur en surélévation doit être compartimentée, particulièrement aux angles, pour assurer l'équilibrage de la pression et réduire l'infiltration de pluie. Le même espacement des compartiments du mur doit être maintenu dans la cavité du mur en surélévation.

Solins

Le sommet du mur en surélévation est aménagé en pente pour y éviter la formation de flaques d'eau. Les solins bitumineux imperméables placés en dessous rendent le calfeutrage des joints des matériaux métalliques inutile et non souhaitable. Les solins métalliques doivent être fabriqués en sections suffisamment courtes pour ne nécessiter que leur fixation aux joints par emboîtement en S aux extrémités, sans recourir au bord à des pattes de fixation qui font souvent défaut en raison de la difficulté à les mettre en place. Calfeutrer l'espace entre l'arrière du solin et la



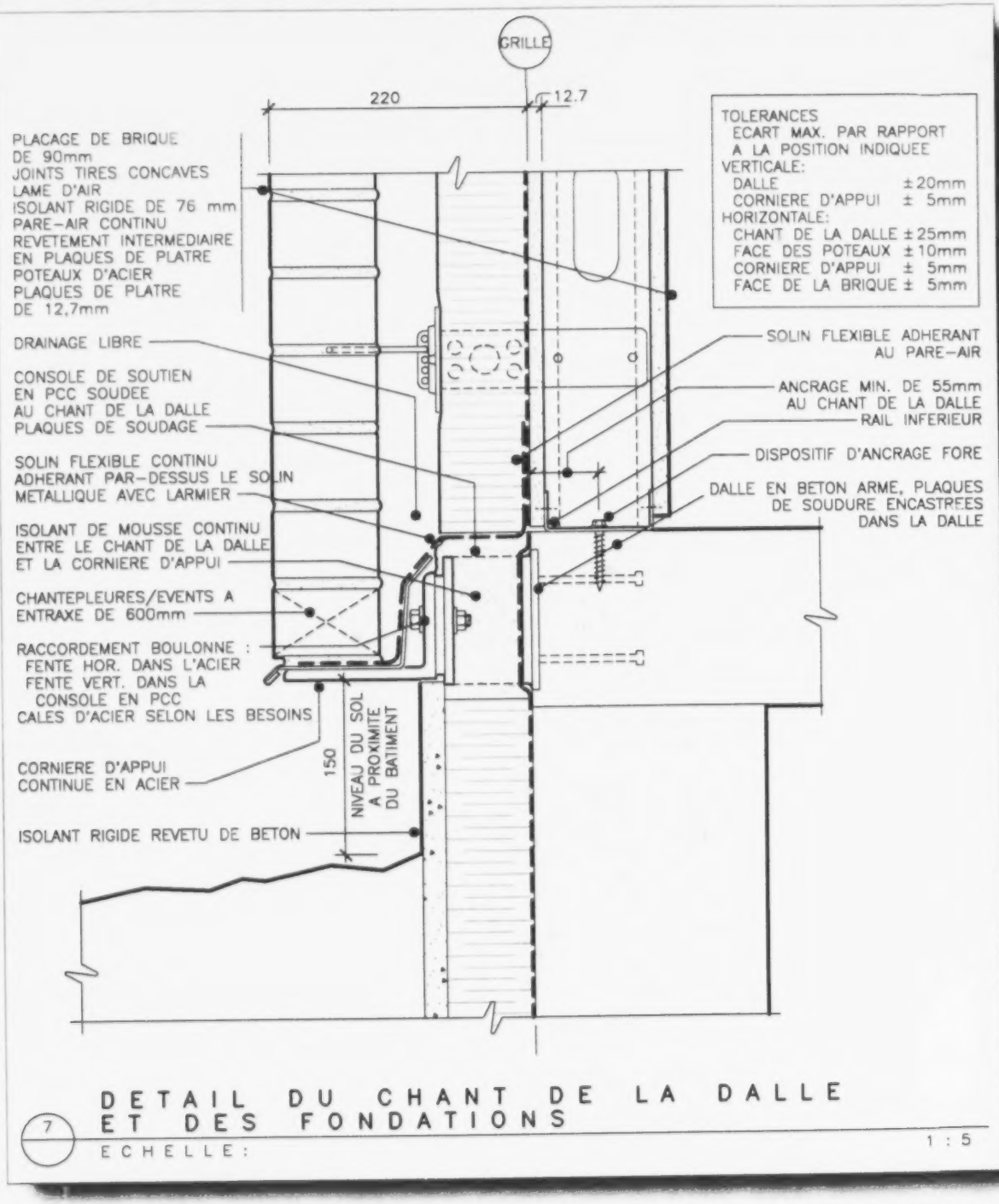
Détail 6 : Mur en surélévation de faible hauteur

face du mur préviendra l'infiltration de pluie poussée par le vent, qui emprunte généralement un trajet ascendant en partie supérieure d'un bâtiment. Le produit d'étanchéité se rompra vis-à-vis les joints du solin à moins d'être discontinu à chaque joint ou désolidarisé du solin.

Couverture
À chaque type de couverture sa technique d'exécution. Il s'agit ici d'une couverture en bitume caoutchouté appliqué à chaud, à pose inversée, renforcée d'une feuille EPDM enrobée dans la membrane par-dessus le joint avec le support du mur en surélévation et par-dessus les joints du support du mur en surélévation.

DÉTAIL 7 - CHANT DE LA DALLE ET FONDATIONS

Ce détail assure la continuité de l'isolant entre le mur et les fondations. Si le niveau du sol est aménagé en pente, coordonner les degrés de la cornière d'appui avec les joints de dilatation de la brique et les compartiments de la cavité. Une fermeture métallique vis-à-vis le côté des degrés permet de fermer la cavité. Dans certaines localités, un encorbellement ou des fondations épaisses servent souvent de support à l'ouvrage de brique au niveau du sol. Exception faite du pont thermique qui en résulte, il s'agit d'une solution de rechange parfaitement acceptable qui permettrait d'éviter de ménager un retrait inhabituel au niveau du sol et au bas de l'ouvrage en brique de suivre plus également le niveau du sol en pente. La différence entre les tolérances possibles du béton et celles requises dans l'ouvrage de brique doit être prise en considération dans ce cas pour faire en sorte que les degrés et l'encorbellement soient alignés sur les assises de brique. Si les tolérances normales du béton étaient respectées, il en résulterait des joints d'assise épais ou des coupes de brique difficiles, voire les deux.



Détail 7 : Chant de la dalle et fondations

DÉTAIL 8 - JONCTION DU BALCON ET DE LA PORTE-FENÊTRE

Ce détail montre comment éviter certains problèmes fréquents qui concernent les balcons ordinaires en porte-à-faux sans apporter des modifications radicales. Le balcon idéal ne comporterait pas de dalle en porte-à-faux. Pour certains maîtres d'ouvrages, il s'agit d'une exigence. Une telle façon de procéder réglerait la question du pont thermique de la dalle proprement dite. Ménager un espace entre les deux dalles permettrait d'assurer la continuité de l'isolant. L'élimination du rayonnement périmétrique permettrait de supprimer le rebord au seuil, et de ce fait faciliterait l'accès aux personnes handicapées et aux autres.

Rebord

Le rebord se prolonge sur toute la largeur de la dalle en porte-à-faux, en plus de porter la protection contre l'eau et la porte-fenêtre. En raison de la grande taille de la porte, il vaut mieux recourir à des parements différents au-dessus et en dessous de la porte, plutôt que de pratiquer une ouverture dans la maçonnerie en brique. Les canalisations d'eau chaude causant le rayonnement périmétrique passent devant la porte, du côté intérieur du rebord, ce qui évite d'avoir à aménager d'autres colonnes montantes ou une retombée de plafond à l'étage en dessous, et à munir les canalisations de coudes. Si les portes et les murs étaient conçus en fonction d'une efficacité thermique élevée, il serait peut-être possible d'éliminer complètement le rayonnement périmétrique.

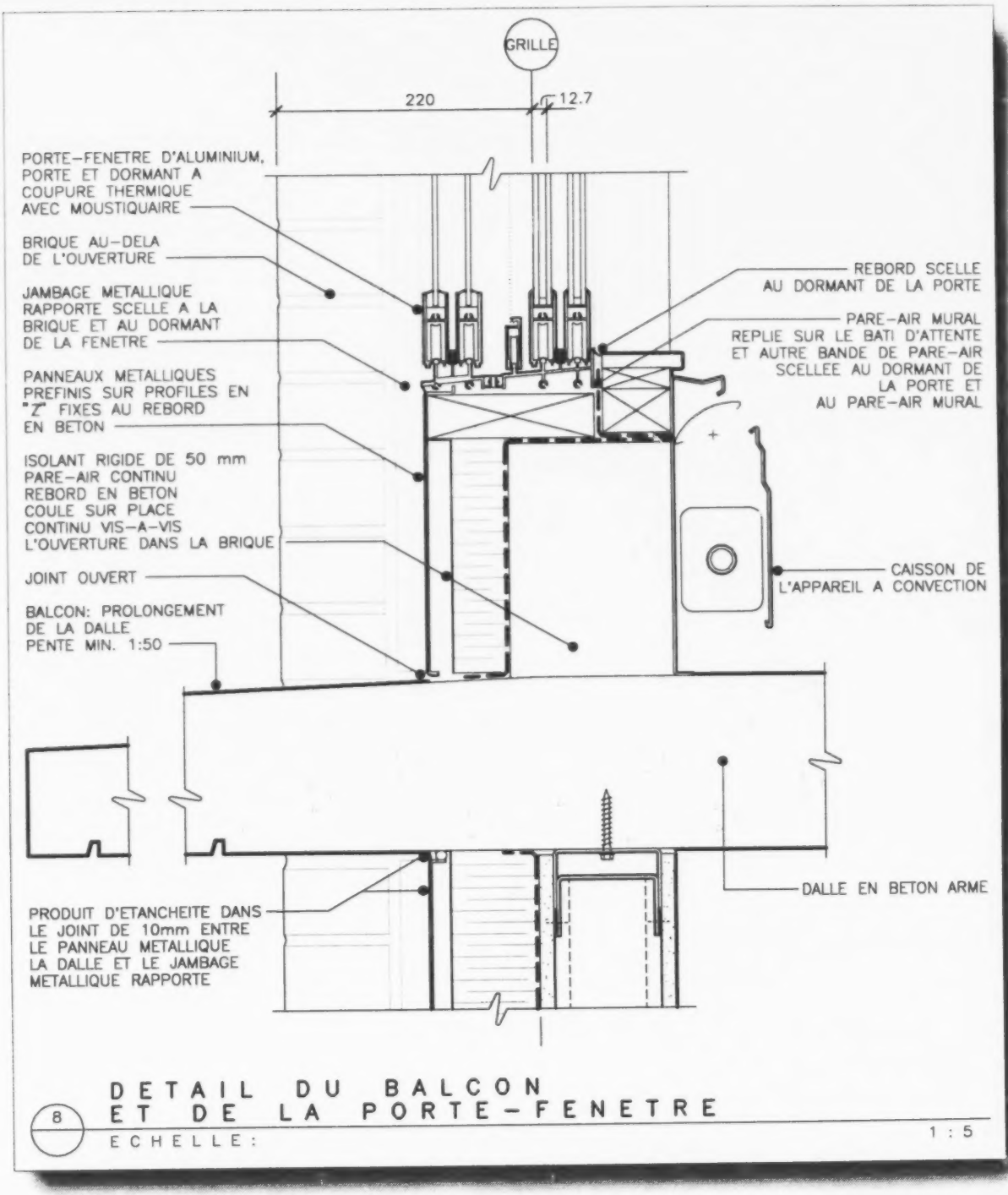
Plutôt que d'aménager le rebord en béton illustré, le rebord pourrait être constitué d'éléments métalliques, le profilé supérieur conçu telle une poutre pour transmettre les charges latérales sur toute la largeur de l'ouverture. Une ossature métallique ne suffirait probablement pas à moins qu'elle soit conçue expressément d'après les charges transmises de la porte jusqu'au rebord.

Larmiers

Un larmier est nécessaire non seulement à la rive du balcon, mais aussi près de la ligne du mur, vu que les balcons de béton fuient souvent par les fissures, l'eau s'écoulant parfois le long de la sous-face de la dalle, causée par la tension superficielle, et parvenant ensuite dans le mur.

Fixation du pare-air au pourtour

Les chants libres de la membrane d'imperméabilisation ou du pare-air doivent être fixés mécaniquement par le biais de tasseaux métalliques dont font mention les devis du pare-air.



***Détail 8** : Jonction du balcon et de la porte-fenêtre*

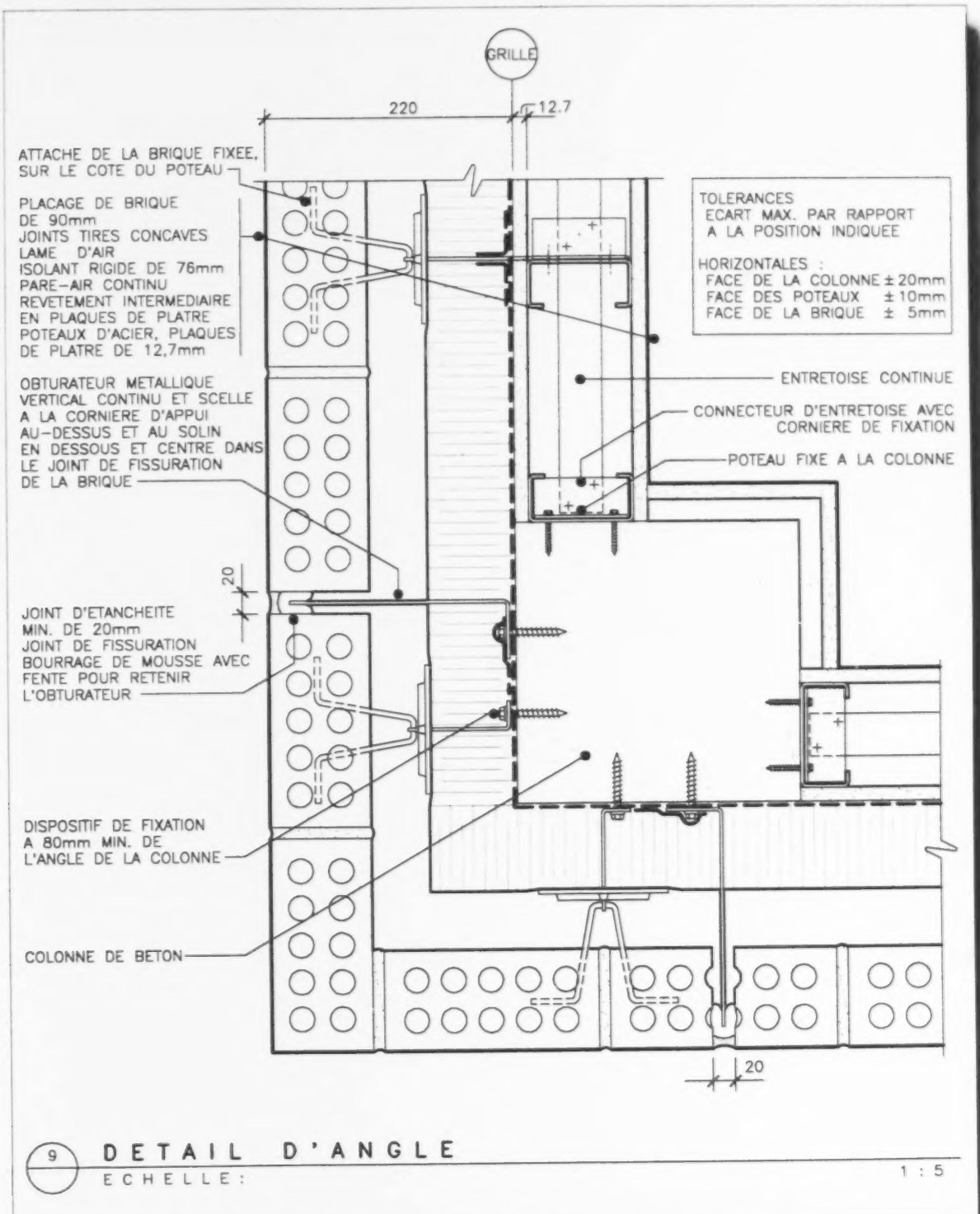
DÉTAIL 9 - ANGLES

Compartiments aux angles
Les surcharges dues aux vents s'exercent sur les séparateurs de la cavité avec la plus grande intensité aux angles, puisque les plus forts gradients de pression s'y trouvent. En ayant recours à deux séparateurs semblables à ceux qui s'emploient au milieu du mur, la surcharge se divise et l'angle semble symétrique. Les matériaux d'étanchéité montrés se trouvent à 400 mm de l'angle. Ils pourraient être disposés jusqu'à une distance maximale de 600 mm de l'angle, surtout dans le cas d'un grand bâtiment. La maçonnerie de brique aux angles est soutenue par sa propre cornière, réalisée à onglet et soudée à l'angle, avec un joint, selon les besoins, situé à l'un des joints de dilatation verticaux.

Fixation aux côtés
Les poteaux, les contreventements de même que le rail supérieur interne de l'ossature du mur se fixent à la colonne. Cela assure l'hyperstaticité, empêche le revêtement intérieur de finition d'être écrasé ou de fissurer, en plus d'assurer la protection du pare-air contre tout mouvement des supports voisins. Le raccordement du rail supérieur interne à la colonne prévient également toute déformation dans le plan de l'ossature murale.

Alignement
La colonne ne sera pas toujours alignée sur le revêtement intermédiaire. Le respect des tolérances admises peut tout de même donner lieu à un décalage de 30 mm. Dans la plupart des cas, il s'ensuivra un degré et un joint dans l'isolant, de sorte que les séparateurs de compartimentation devront être taillés aux dimensions dans chaque cas.

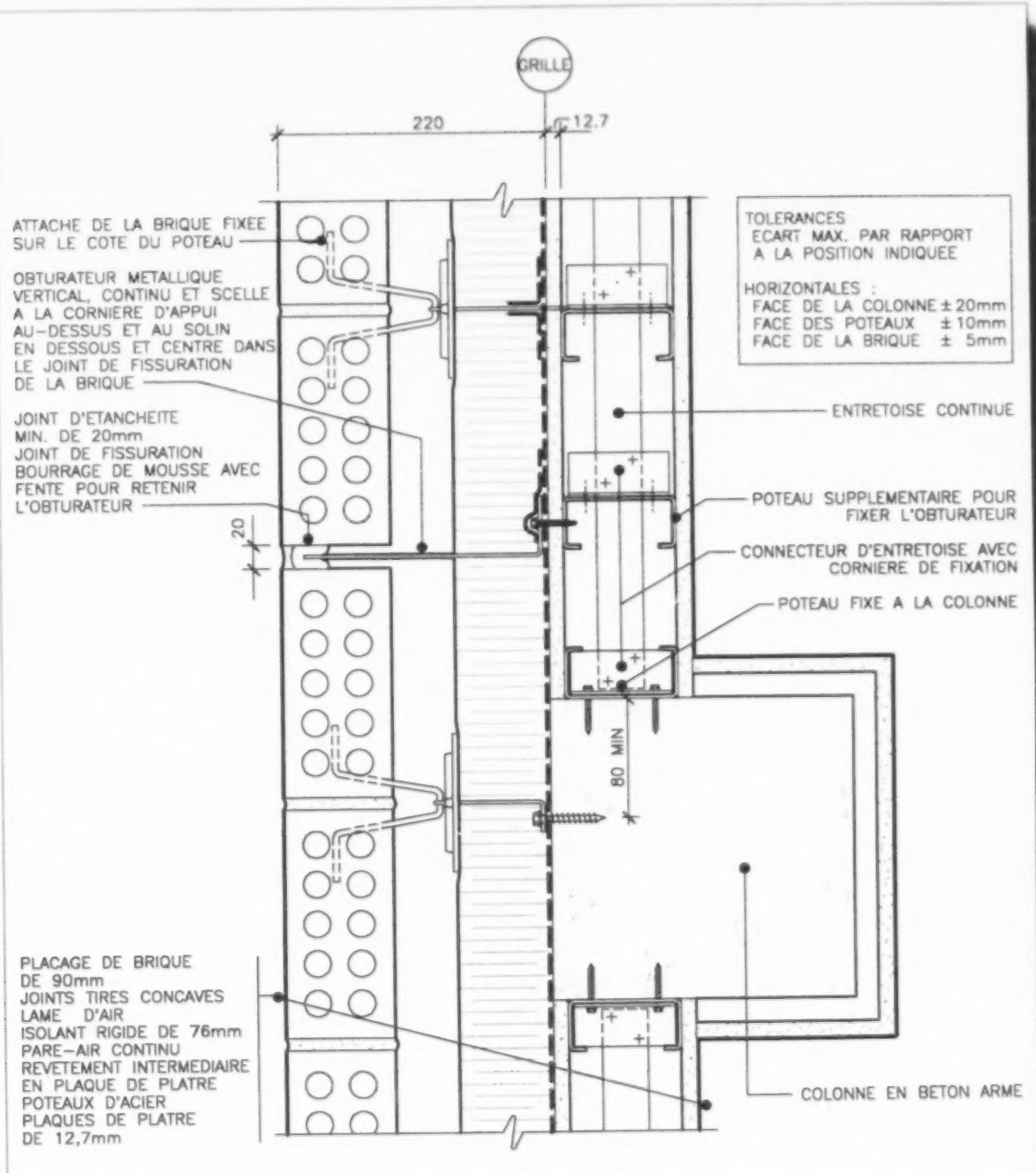
Scellement des séparateurs
Aucune norme *de facto* fondée sur des antécédents satisfaisants ne vise encore le scellement des séparateurs de compartimentation. Pour la surface du mur, l'ajout d'une bande autocollante joue bien son rôle. Le même matériau peut s'employer pour étanchéifier les extrémités des cornières d'appui, mais souvenez-vous de prévoir une marge de mouvement. Le bourrage de joint en mousse fendu illustré devra être fait exprès à partir de mousse de polyéthylène. D'autres solutions de rechange préconisées consistent à réaliser deux joints calfeutrés, de sorte que le chant du séparateur est visible à la face du mur, ou encore à fixer le séparateur mécaniquement au chant de la maçonnerie de brique d'un côté du joint et à utiliser un produit ou joint d'étanchéité pour sceller le séparateur à la brique. Chaque méthode proposée comporte des difficultés, tels le mauvais alignement sur la face du mur, les chants rouillés, ou la contrainte non voulue de la maçonnerie de brique. Peu importe le mode de scellement employé, il faut assurer une étanchéité raisonnable des séparateurs, quoique peut-être pas autant que le pare-air. Le simple fait de l'introduire dans le joint en laissant un jeu entre le séparateur et l'arrière du produit de jointoiement aurait pour effet d'emprisonner l'air entre les compartiments et de saper la raison d'être du séparateur.



Détail 9: Angles

DÉTAIL 10 - JOINT DE FISSURATION

Ici l'obturateur de compartimentation est fixé à l'ossature plutôt qu'à la structure de béton. Il faut poser un poteau supplémentaire à cet endroit pour les besoins de fixation. Pour assurer l'hyperstaticité et prévenir le fléchissement latéral différentiel, l'ossature doit toujours être assujettie à la structure vis-à-vis ses appuis d'extrémité comme dans le cas de cette colonne. Si l'obturateur est fixé mécaniquement à la brique, contrairement à ce détail, les effets structuraux sur le mur doivent entrer en ligne de compte.

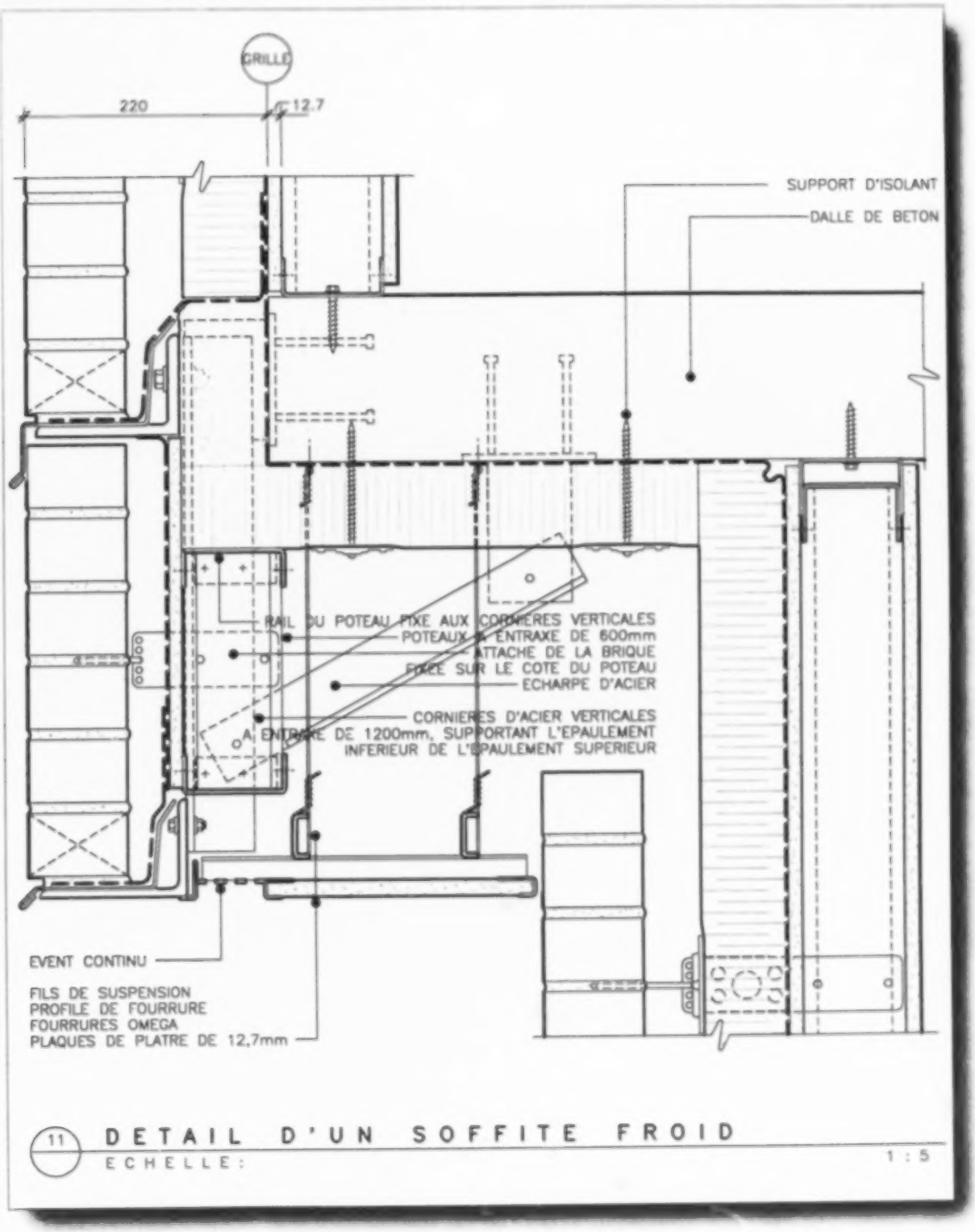


***Détail 10** : Joint de fissuration*

DÉTAIL 11 - SOFFITE FROID

Il est difficile de réaliser des soffites chauds étanches à l'air. Ils constituent un endroit cher où dissimuler les conduites d'alimentation en eau qui risquent de geler. Sauf s'il n'y a pas moyen de faire autrement, l'isolant d'un soffite doit être fixé directement à la sous-face de la structure du plancher.

Le fort volume du soffite, ajouté au volume de la cavité murale en dessous, empêcherait vraisemblablement l'équilibrage de la pression de la cavité dans la tranchée du mur. On présume en pareil cas que les dimensions de la tranchée assurent un abri et éliminent la nécessité d'y aménager un écran pare-pluie. Autrement, un obturateur de compartimentage horizontal serait requis entre la cavité du mur et celle du soffite.



Détail 11 : Soffite froid

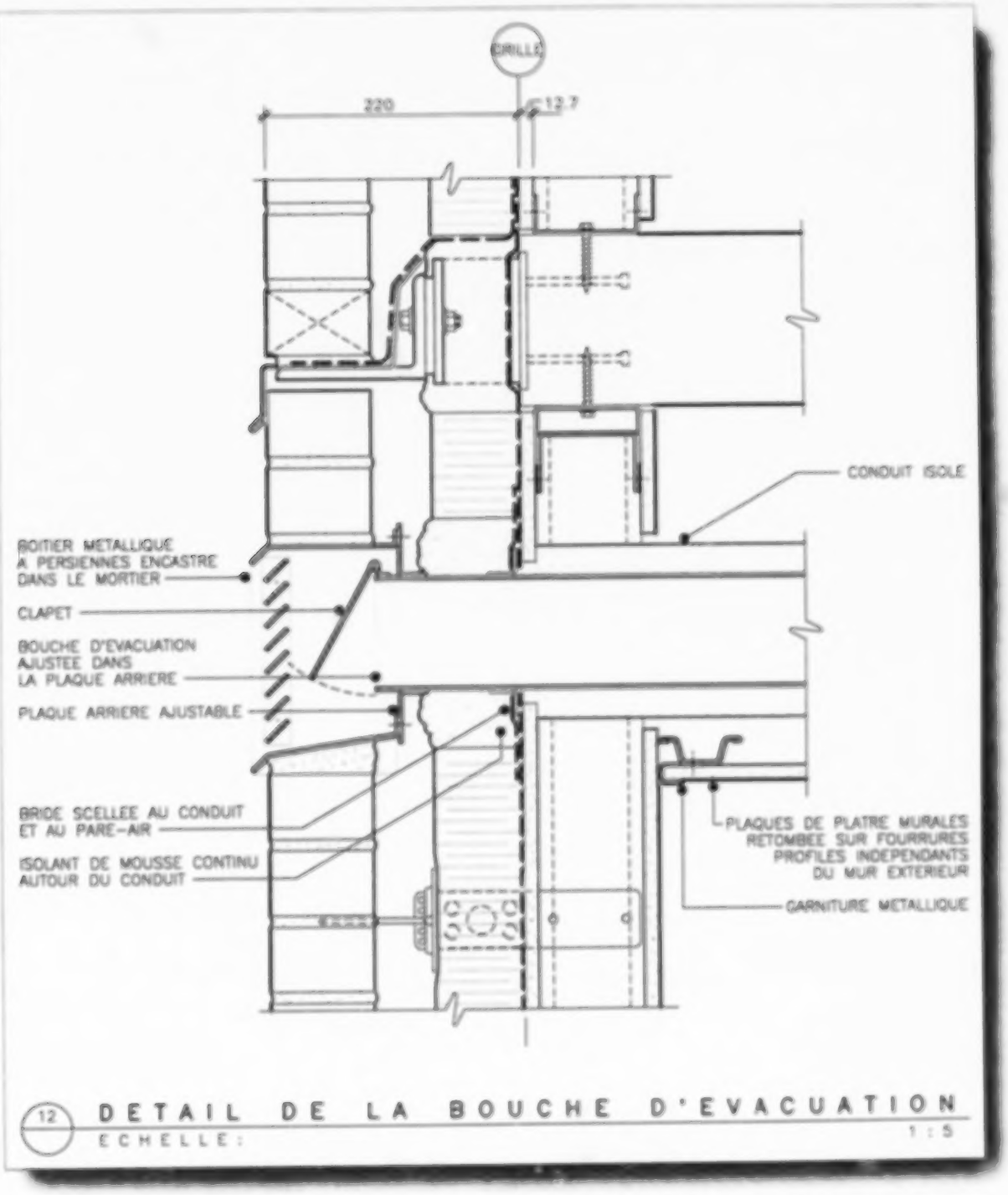
DÉTAIL 12 - BOUCHE D'ÉVACUATION

Ce détail doit être évité dans de nombreux cas, surtout dans les climats froids. À moins que l'intérieur du bâtiment soit compartimenté à l'horizontale pour prévenir l'effet de tirage cumulatif, l'air sera évacué aux étages supérieurs, que le ventilateur fonctionne ou non. L'installation d'un ventilateur d'extraction centralisé, avec récupérateur de chaleur, constituerait sans doute une solution plus efficace.

Ce détail met en lumière deux caractéristiques utiles. Le boîtier construit dans le placage abrite le conduit d'évacuation. Si le conduit se prolonge jusqu'à la face du mur, muni d'un capot à bride et d'un clapet standard, alors l'eau descendant la face du mur parvient généralement derrière la bride et le long du dessus du conduit. Le boîtier permet aussi de régler l'alignement du conduit avec les assises de la brique, et la plaque arrière ajustable peut tenir lieu d'adaptateur de forme ronde à carrée. La bride du conduit permet d'assurer la continuité du pare-air.

L'emplacement du clapet n'est certes pas idéal, puisqu'il se formera de la condensation dans la portion non isolée du conduit et sur l'arrière du clapet, mais le disposer vis-à-vis l'isolant le rendrait inaccessible pour les besoins d'entretien et un clapet à l'intérieur du bâtiment rendrait difficile de décider où disposer le pare-vapeur de l'isolant du conduit, puisque le conduit pourrait être soit froid soit chaud, selon le fonctionnement du ventilateur.

Si un poteau nuit à l'alignement du conduit, il suffit de ménager un bâti structural.



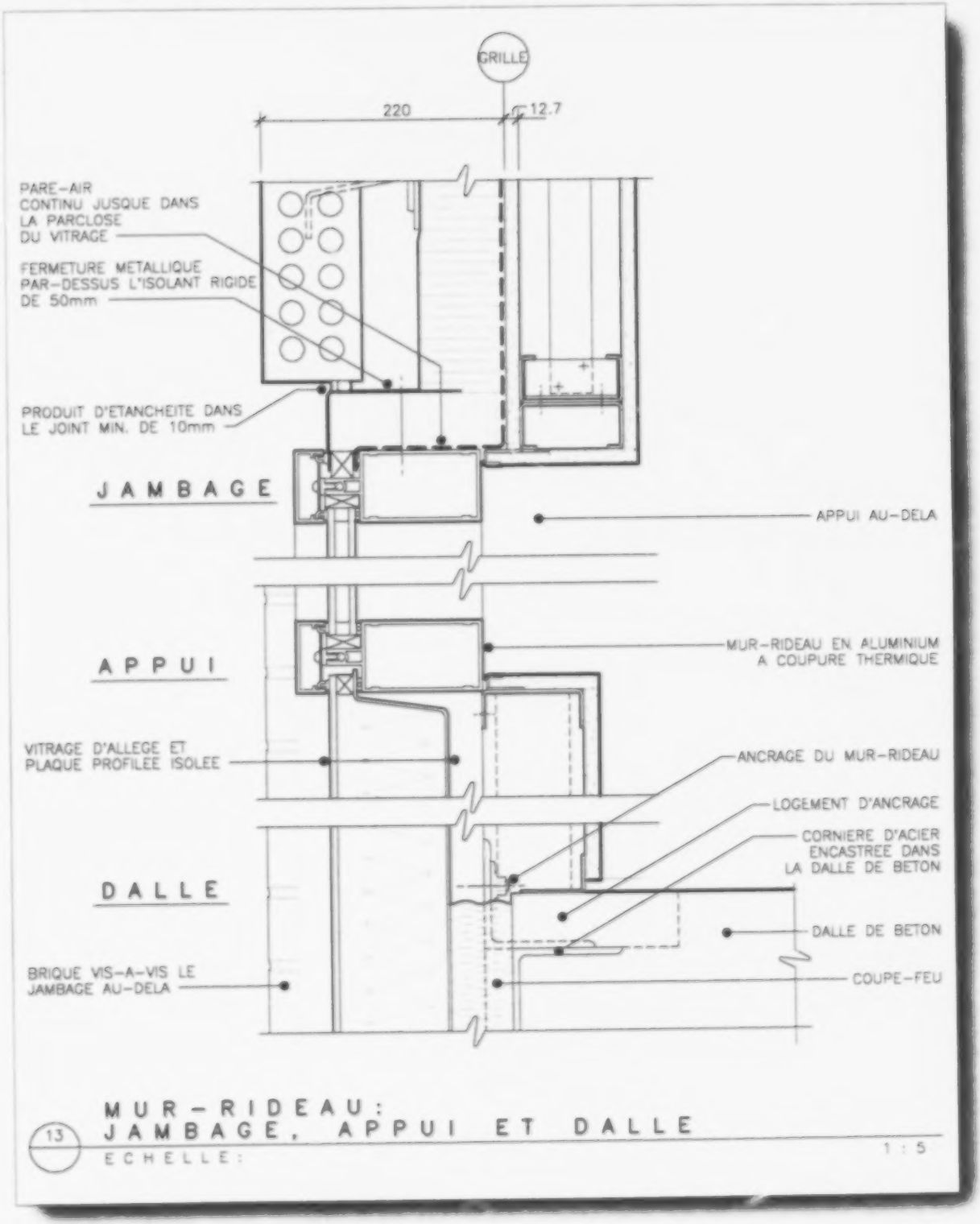
Détail 12 : Bouche d'évacuation

DÉTAIL 13 - MUR-RIDEAU : JAMBAGE, APPUI ET DALLE

Le mur-rideau file devant le chant de la dalle, l'allège étant ménagé devant une plaque profilée isolée. Le chant du vitrage et les cavités du profilé de l'allège constituent d'autres endroits où le logiciel RAIN peut aider à évaluer l'équilibrage de la pression. Dans bien des cas, pour que la pression s'équilibre, il faudra compter sur des évents plus grands et des plaques profilées arrière plus rigides.

L'ossature d'aluminium discontinue à l'endroit de la dalle de plancher peut alors être située plus vers l'intérieur, peut-être avec l'arrière de la gorge alignée sur le pare-air. En tout cas, la masse de l'ossature doit être tenue chaude, et il devrait être possible de retirer la plaque de pression et le chaperon voisinant la maçonnerie de brique sans couper le produit d'étanchéité.

Si la séquence des travaux de construction constitue un motif d'inquiétude, un détail plus compliqué permettrait de mettre en oeuvre l'ossature d'aluminium après l'achèvement de la maçonnerie de brique, alors que celui-ci nécessite sa mise en oeuvre en premier. Pour ce faire, prendre une cornière en tôle, comme celle utilisée pour sceller les compartiments, à environ 25 mm du côté du mur-rideau, et y sceller le pare-air; ensuite isoler cette cornière plutôt que le côté de l'ossature d'aluminium. Après la mise en oeuvre de la brique, poser une deuxième cornière métallique, formée avec un logement d'emboîtement rempli d'un produit d'étanchéité et la faire glisser sur le chant de la première cornière, et la sceller au dos de la patte du vitrage pour terminer le raccordement au pare-air.



Détail 13 : Mur-rideau : jambage, appui et dalle

DEVIS

Division 4 - Maçonnerie

Le placage de maçonnerie qui s'utilise avec l'ossature d'acier ne diffère en rien de celui des murs de fond, à l'exception peut-être du choix des attaches. Si la conception de l'ossature d'acier doit être confiée aux soins de l'entrepreneur, il vaut mieux arrêter son choix sur des attaches reconnues pour être rigides et pour bien interagir avec l'ossature, étant donné que le concepteur doit tenir compte des attaches, sans pour autant exercer quelque incidence que ce soit sur leur choix. La norme CSA S304.1-94 requiert que chaque attache soit en mesure de supporter 40 % de la charge tributaire s'exerçant sur une bande verticale de maçonnerie d'une largeur équivalant à l'espacement entre deux poteaux, de sorte que le fléchissement sous une charge de 0,45 kN ne dépasse pas 1,0 mm, à moins de mener une analyse de rigidité détaillée de la structure composite formée par l'ossature, les attaches et le placage. Les attaches les moins susceptibles d'entraîner des problèmes de tenue en service se fixent directement à l'âme des poteaux, plutôt qu'aux ailes ou à travers le revêtement intermédiaire. De plus, elles ont une masse et une surface intérieures appréciables, et se révèlent pratiquement autant rigides à tous les réglages possibles. Par contre, il convient d'envisager de renforcer la rangée d'attaches supérieure, puisque les surcharges réelles, fondées sur les essais menés à McMaster et les modèles théoriques, peuvent représenter environ 50 % de la charge tributaire[5]. Si le mur est conçu en détail, et explicité comme il se doit dans les épures et les devis, le concepteur de l'ossature devrait alors être mandaté pour établir les règles de conception de la maçonnerie de brique et des attaches.

La brique et le mortier à choisir pour le placage sont traités dans le *CMHC Best Practice Guide for Brick Veneer, Concrete Masonry Backup*[6]. Le Devis directeur national fait état de devis types tout indiqués.[7]

Division 7 - Isolation et étanchéité

TEK-AID de CSC[8] livre des renseignements généraux et des devis types à l'égard des pare-air. L'échantillon d'ouvrage requis et les exigences de performance du pare-air doivent être mis en corrélation avec les mouvements d'air que le concepteur juge tolérables, puis spécifiés. Des matériaux et modes de pose particuliers peuvent être spécifiés de pair avec des exigences de performance, pourvu que des rapports indiquent aux soumissionnaires qu'un prototype a été testé avec succès.

Section 05410 - Ossatures d'acier portant des charges latérales

Un devis type correspondant est intégré au présent guide, aussi bien sous forme d'annexe que sur disquette.

Le devis a une portée plus générale que les détails. Il s'avérera d'un précieux secours à l'égard de tout bâtiment pour lequel l'exécution de l'ossature d'acier est confiée à l'entrepreneur, alors que les règles de conception et les détails sont explicités dans les dessins d'atelier. Accompagné du guide et des NOTES AU RÉDACTEUR, le devis devrait se passer d'autre explication.

---

5 Drysdale, *Defining Better Cladding Systems...*
6 Halsall, Otto + Bryden, *Best Practise Guide, Building Envelope Design, Masonry Veneer/Concrete Block Construction.*
7 *Devis directeur national*, Division 4.
8 *CSC TEK-AID Reference 07195 - Air Barriers.*

Section 09250 - Plaques de plâtre

S'il est fait usage de plaques de plâtre du côté intérieur ou d'un revêtement intermédiaire en plaques de plâtre du côté extérieur pour appuyer le pare-air, il est probable qu'il faille ajouter à la plupart des devis directeurs des exigences précises de fixation et d'orientation des plaques. Autrement, les devis établis à l'exemple du devis directeur national devraient suffire.

Coordination des sections du devis

La conception des murs extérieurs à ossature d'acier influe sur toutes les sections d'un devis précisant les allocations monétaires, les essais, le béton, la maçonnerie, les composants métalliques, le pare-air, l'isolant, les solins métalliques et les plaques de plâtre.

- Décrire les essais et l'inspection requis pour les poteaux d'acier, et tenir compte des coûts.
- Décrire les méthodes de vérification des fuites d'air, et tenir compte des coûts.
- Coordonner les tolérances spécifiées à l'égard de la maçonnerie, du béton et de l'acier pour faire en sorte que les imprécisions s'inscrivant dans les limites des tolérances spécifiées ne rendront pas les détails montrés impossibles à réaliser, même dans les cas extrêmes.
- Spécifier la fixation adéquate de l'isolant de façon à éviter son déplacement par les rafales dues au vent, la corrosion, ou d'endommager le pare-air.
- Faire en sorte que le pare-air ne soit pas compromis par les attaches et les appuis du parement, qu'il agira tel un solin, selon les besoins, et qu'il puisse tolérer le mouvement aux joints. Si le mouvement est important, des feuilles de butyle seront peut-être nécessaires pour suppléer au pare-air bitumineux modifié, par exemple.
- Spécifier les dispositifs de fixation, leur espacement, et l'orientation des panneaux requise pour les plaques de plâtre devant s'utiliser à l'intérieur et le revêtement intermédiaire en plaques de plâtre.

FICHIERS SUR CD-ROM

Fichiers dessins
Les détails inclus dans le guide sont également présentés sur le CD-ROM en format AutoCAD, version 10, en fichiers DWG et DXF. Ils sont tous présentés en version SI (métrique) suivant l'échelle 1:5, les couches permettant d'obtenir les notes et titres en français ou en anglais.

Les deux versions DXF et DWG sont également offertes aux utilisateurs qui préfèrent les mesures impériales selon l'échelle 3 po équivalant à 1 pi. Pour plus d'information, consultez le fichier LISEZMOI.TXT du CD-ROM.

Le CD-ROM contient les répertoires et sous-répertoires suivants :

- METRIC (Fichiers dessins, échelle 1:5, unités métriques)
- IMPERIAL (Fichiers dessins, échelle 3 po équivalant à 1 pi, unités impériales)
- PDF (Documentation complète en format PDF)
- SPEC (Devis complet en formats de fichiers variés)

En plus des répertoires ci-dessus, le CD-ROM contient également les fichiers suivants :

AR16E301.EXE : Fichier d'installation d'Acrobat Reader pour Windows 3.1x
AR32E301.EXE : Fichier d'installation d'Acrobat Reader pour Windows 95
LIC_RDR.PDF : Contrat de licence pour Acrobat Reader
README.TXT : Fichier narratif anglais
LISEZMOI.TXT : Fichier narratif français

Installation d'Acrobat Reader sur Windows 3.1x :
1. À partir du Gestionnaire de programmes, sélectionnez Fichier, puis **Exécuter**
2. Cliquez sur le bouton Parcourir et sélectionnez AR16E301.EXE
3. Cliquez sur OK

Suivez les instructions à l'écran.

Installation d'Acrobat Reader sur Windows 95 :
1. Cliquez sur le bouton Démarrer, puis sur Exécuter
2. Cliquez sur le bouton Parcourir et sélectionnez AR32E301.EXE
3. Cliquez sur OK

Suivez les instructions à l'écran.

Fichiers devis
Le fichier devis, soit la section 05410, est fourni sur le CD-ROM dans les formats WP5, SAM, TXT, RTF et MSWord. Il est offert en français et en anglais, dans le SI (métrique), et renvoie aux normes canadiennes correspondantes. Pour plus d'information, consultez le fichier LISEZMOI.TXT du CD-ROM.

BIBLIOGRAPHIE

Blomberg, Thomas. HEAT2. *A Heat Transfer PC Program*. Lund, Sweden : The Department of Building Physics, Lund University, avril 1991.

—. *HEAT2 (v2.53)*. Lund : The Department of Building Physics, Lund University, août 1995.

—. *HEAT3. A PC-Program for Heat Transfer in Three Dimensions*. Lund : Group for Computational Building Physics, Lund University, novembre 1995.

Brown, W.C.; Poirier, G.-F.: *Testing of Air Barrier Systems for Wood Frame Walls*. Institut de recherche en construction (IRC) du CNRC, rapport n° CR5505.1, Ottawa, 3 juin 1988.

Bumbaru, D.; Jutras, R.; Patenaude, A. : *Perméance des matériaux de construction à l'air, rapport succinct*. AIR-INS pour la SCHL, Ottawa, 17 juin 1988.

Institut canadien de la tôle d'acier pour le bâtiment. *Lightweight Steel Framing Manual* (CSSBI 50M-91). Cambridge, CSSBI, août 1988.

—. *Lightweight Steel Framing Design Manual*, (CSSBI 51M-91), juillet 1991.

—. *Guide Specification for Wind Bearing Steel Studs* (CSSBI S5-90). Cambridge, CSSBI, décembre 1990.

Association canadienne de normalisation. *Masonry Design For Buildings (Limit States Design)* (CAN/CSA-S304.1-94). Rexdale, CSA, 1994.

—. *Crampons pour maçonnerie* (CSA A370-94). Rexdale, CSA, 1994.

—. *Maçonnerie des bâtiments* (CSA A371-94). Rexdale, CSA, 1994.

Chien, N.; Fend, Y.; Wang, H; et Siao, T. : *Wind-Tunnel Studies of Pressure Distribution on Elementary Building Forms*. Iowa Institute of Hydraulic Research, State University of Iowa, Iowa City, 1951.

Cowie, J.W. : *La défaillance des colombages d'acier* (Bulletin Information Prévention n° 89 d'ENCON). Ottawa, Société de gestion d'assurance ENCON, septembre 1990.

Devis de construction Canada. *TEK-AID Reference 07195 - Air Barriers*, Toronto, CSC, mars 1990.

Drysdale, Robert G. *Defining Better Cladding Systems - Theoretical Work*. Ottawa, SCHL, juillet 1991.

—, Breton, N : *Strength and Stiffness Characteristics of Steel Stud Backup Walls Designed to Support Brick Veneer* (programme d'essais sur les systèmes de murs à placage de brique et ossature d'acier menés à l'université McMaster, Partie 1). Ottawa, SCHL, mars 1989.

—, Kluge, A.; Roscoe, Peter : *A Report on Water Leakage Characterictics of Bricks and Brick Assemblages*, (programme d'essais sur les systèmes de murs à placage de brique et ossature d'acier menés à l'université McMaster, Partie 2). Ottawa, SCHL, mai 1990.

—, Kluge, A. : *Performance of Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems Subject to Temperature, Air Pressure and Vapour Pressure Differentials* (programme d'essais sur les systèmes de murs à placage de brique et ossature d'acier menés à l'université McMaster, Partie 3). Ottawa, SCHL, mai 1990.

—, Wilson Michael J. : *Behaviour of Brick Veneer/Steel Stud Tie Systems* (programme d'essais sur les systèmes de murs à placage de brique et ossature d'acier menés à l'université McMaster, Partie 4). Ottawa, SCHL, mars 1989.

—, Wilson Michael J. : *Tests of Full Scale Brick Veneer/Steel Stud Walls to Determine Strength and Rain Penetration Characteristics* (programme d'essais sur les systèmes de murs à placage de brique et ossature d'acier menés à l'université McMaster, Partie 5). Ottawa, SCHL, juillet 1990.

—, Chidiac, S.E. : *Defining Better Cladding Systems - Theoretical Work, dans le cadre du Séminaire sur les systèmes de murs à placage de brique*, Ottawa, SCHL, 1989.

—, Sutter, G.T. : *Construction des murs extérieurs des bâtiments de grande hauteur, Systèmes de mur à placage de brique sur une maçonnerie en béton ou fond à ossature d'acier* (ISBN 0-660-93102-8, MAS NH15-20/1991F), Ottawa, SCHL, 1991.

Ganguli, U.; Dalgliesh, W.A. : *Wind Pressures on Open Rain Screen Walls : Place Air Canada*. ASCE Journal of Structural Engineering, vol. 114, n° 3, mars 1988 Réimprimé sous forme de document IRC n° 1525, NRCC 28859).

Garden, G.K. : *Importance de la prévention des fuites d'air* (CBD 72F), Ottawa, Division des recherches sur le bâtiment (DRB), CNRC, Ottawa 1967.

Gulay, B.W.; Stewart C.D.; Foley, G.J. : *Field Investigation Survey of Airtightness, Air Movement and Indoor Air Quality in High Rise Buildings, Summary Report* (Wardrop Engineering), Ottawa, SCHL, juillet 1993.

Halsall, R.; Otto + Bryden Architects : *Best Practice Guide, Building Envelope Design, Masonry Veneer/Concrete Block Construction*, Ottawa, SCHL (travaux en cours pour le compte de la SCHL).

Handegord, G.O. : *La nécessité d'une meilleure étanchéité à l'air dans les bâtiments*, (Note d'information de recherche sur le bâtiment n° 151), Ottawa, DRB/CNRC, 1979.

Hansen, A.T. : *Problèmes d'humidité dans les maisons* (CBD 231F), Ottawa, DRB/CNRC, 1984.

Hatzinikolas, M.A.; Lee, R.; Warwaruk, J. : *Factors Affecting the Performance of Metal Stud Walls used as a Backup System to Masonry Veneer*, Edmonton, Prairie Masonry Research Institute, décembre 1987.

—; Elwi, A.E.; Warwaruk, J. : *Connecting Cavity Walls*, Edmonton, Prairie Masonry Research Institute, 1991.

Hutcheon, N.B. : *Humidité dans les bâtiments canadiens* (CBD 1F), Ottawa, DRB/CNRC, 1961.

— : *Exigences pour les murs extérieurs* (CBD 48F), Ottawa, DRB/CNRC, 1966.

—, Handegord, *G.O. : Building Science for a Cold Climate* (ISBN 0-471-79763-4), Toronto, John Wiley and Sons, 1983.

Keller, H. *Brick Veneer/Steel Stud Wall Design and Construction Practices in Canada: Results of a 1986 Survey*, Ottawa, SCHL, 1986.

—, *Field Investigation of Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems* (Suter Keller Inc.), Ottawa, SCHL, 1989.

—, Trestain T.W.J.; Maurenbrecher A.H.P. : *The Durability of Steel Components in Brick Veneer/Steel Stud Wall Systems*, extrait du compte rendu de la Sixième conférence sur la science du bâtiment et la technologie, Université de Waterloo et CSCE, Waterloo, 1992.

Latta, J.K., *Les imprécisions dans la construction* (CBD 171F), Ottawa, DRB/CNRC, 1976.

— : *Les pare-vapeur : que sont-ils? sont-ils efficaces?* (CBD 175F), Ottawa, DRB/CNRC, 1976.

— : *Murs, fenêtres et toitures pour le climat canadien* (publication technique spéciale n° 1 DRB/CNRC, NRCC 1348F), Ottawa, DRB/CNRC, 1976.

McDonald, D. : *Exigences structurales des pare-vent*, rapport n° 30133.OR1 présenté par Morrison Hershfield), Ottawa, SCHL, 13 août 1991.

Morrison Hershfield Limited : *A Study of the Rainscreen Concept applied to Cladding Systems on Wood Frame Walls*, Ottawa, SCHL, 3 août 1990.

Oak Ridge National Laboratory, DOE, *Heating 7.2* (PSR-199), Oak Ridge, TN, Radiation Shielding Information Center, Oak Ridge National Laboratory, février 1993.

Travaux publics Canada. *Devis directeur national*. Toronto. Devis de construction Canada. Toronto. et Spencerville. Institut royal d'architecture du Canada. mise à jour périodique.

Quirouette. R.L. : *La différence entre un pare-vapeur et un pare-air* (Note sur la construction n° 54F). Ottawa. DRB/CNRC. 1985.

—— : *Projet de recherche de la SCHL : Évaluation d'éléments de construction assurant l'étanchéité à l'air* (rapport n° 30132.OR/2 présenté par Morrison Hershfield). Ottawa. SCHL. 26 août 1991.

—— : *Projet de recherche pour la SCHL : Essais sur les éléments d'étanchéité II* (rapport n° 32173.03/1 présenté par Morrison Hershfield. Ottawa. SCHL. 31 mars 1993.

—. Ganguli. U.; Lux. M.E.; Brown. W.C.; et Perreault. J.-C. : *Un pare-air pour l'enveloppe du bâtiment*. Regard 86 sur la science du bâtiment (compte rendu n° 13 DRB/CNRC. ISBN 0835-653X). Ottawa. DRB/CNRC. janvier 1989.

Reginato. R.; Handegord. G. : *A Procedure for Estimating the Moisture Performance of Building Envelopes. Brampton*. TROW. ca. 1990.

Robinson. G; Baker M.C. : *Effet de la pluie balayée par le vent et les édifices*. (document technique n° 445. NRCC 14792F). Ottawa. DRB/CNRC. 1975.

Rousseau. J.; Keller. H.; Drysdale. R. ; Suter. G. : *Séminaire sur les systèmes de murs à placage de brique*. Ottawa. SCHL/CCRB/ABEG/MBEC/OBEC. juin 1989.

—. Rousseau. M.Z.; Quirouette. R.L.; and Handegord. G.O. : *Humidité. condensation et ventilation dans les maisons* (Regard 83 sur la science du bâtiment. compte rendu n° 7 DRB/CNRC. NRCC 23293F). Ottawa. DRB/CNRC. mai 1984.

Shaw. C.Y.; Tamara. G.T. : *Studies on Exterior Wall Air Tightness and Air Infiltration of Tall Buildings*. ASHRAE Transactions. Vol. 82. Part I. 1976.

Trestain. T.W.J. : *Le succès des murs avec parement de briques et colombages de soutien en acier* (Bulletin Information Prévention n° 90 d'ENCON). OTTAWA. Société de gestion d'assurance ENCON. juin 1991.

TROW Inc. *Criteria for The Air Leakage Characteristics of Building Envelopes*. projet n° B-03499-A). Ottawa. SCHL. décembre 1989.

ANNEXE : DEVIS TYPE

1996.03.28 05410

Projet n° [___] Ossatures d'acier portant des charges latérales

[Nom de l'ensemble résidentiel]

RÉDACTEUR : L'ossature d'acier portant des charges latérales s'entend d'un mur à poteaux d'acier formés à froid destiné à porter des charges latérales, comme celles dues au vent, mais non des charges axiales ou permanentes autres que son propre poids, d'habitude pour des murs extérieurs, mais parfois pour des plénums ou des cages. Elle peut porter un parement ou un revêtement de finition léger, sauf que le poids du parement extérieur tel un placage de maçonnerie est soutenu indépendamment. La présente section est rédigée en présumant que les règles de conception structurale de l'ossature font partie des travaux devant être exécutés par un ingénieur relevant directement ou indirectement de l'entrepreneur. Elle présume également que la répartition des travaux parmi les sous-traitants incombe uniquement à l'entrepreneur, sans qu'il s'en remette aux devis.

1 Généralités

1.1 SECTIONS CONNEXES

1.1.1 Section 01020 Allocations

RÉDACTEUR : Si l'allocation prévue couvre les honoraires d'inspections ou d'essais indépendants, indiquer la section où le montant de l'allocation est précisé.

1.1.2 Section 04200 Maçonnerie d'éléments manufacturés

RÉDACTEUR : Indiquer la section précisant les attaches du placage de maçonnerie devant être assujetties à l'ossature en poteaux d'acier.

1.1.3 Section 072 [ ] [_____] Isolation thermique

RÉDACTEUR : Indiquer la ou les section (s) précisant de mettre en oeuvre de l'isolant dans les espaces entre les poteaux ainsi que dans la cavité murale.

1.1.4 Section [_____] [_____]

RÉDACTEUR : Indiquer la ou les section (s) précisant les autres parements ou revêtements de finition extérieurs devant être fixés à l'ossature.

1.1.5 Section [09250] Plaques de plâtre

RÉDACTEUR : Indiquer la ou les section (s) précisant le revêtement en plaques de plâtre à assujettir à l'ossature et le revêtement intermédiaire en plaques de plâtre. Vérifier s'il y est question de l'espacement des vis, de l'épaisseur des plaques ainsi que de l'orientation requise selon les charges dues au vent.

1.2 RENVOIS

1.2.1 ASTM A591/591M-89 (1994), «Steel Sheet, Electrolytic Zinc-Coated, for Light Coating Mass Applications».

1.2.2 ASTM A780-93a, «Standard Practice for Repair of Damaged and Uncoated Areas of Hot-Dip Galvanized Coatings».

1.2.3 ASTM A792M-85a, «Steel Sheet, Aluminum-Zinc Alloy Coated by the Hot-Dip Process, General Requirements (Metric)».

1.2.4 [CAN-CGSB-1.181-92, «Enduit riche en zinc, organique, préparé».]

1.2.5 CAN/CGSB-7.1-M86, «Éléments d'ossature en acier écroui».

1.2.6 [CSA W59-M1989, «Construction soudée en acier (soudage à l'arc).]

1.2.7 [CSA W47.1-92, «Certification des compagnies de soudage par fusion des structures en acier».]

1.2.8 CAN/CSA-S136-94, «Cold Formed Steel Structural Members».

1.2.9 [CAN/ULC-S101-M89, «Standard Methods of Fire Endurance Tests of Building Construction and Materials».]

1.2.10 [ANSI/AWS D1.3-89, «Structural Welding Code - Sheet Steel»]

RÉDACTEUR : Indiquer les normes utilisées comme références ailleurs dans la présente section, selon l'organisme rédacteur, la date ou l'édition, et le titre.

1.3 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

1.3.1 Retenir les services d'un ingénieur agréé en vue de concevoir les systèmes à poteaux métalliques; de dresser, d'assortir du sceau et signer tous les dessins d'atelier; et effectuer les revues sur place.

1.3.2 [Effectuer les travaux de soudure en conformité avec les exigences de la norme [CSA S136 et CSA W59] [pour un matériau de 0,70 mm d'épaisseur ou plus] [et] [ou] [ANSI/AWS D1.3.]

RÉDACTEUR : D'après la norme S 136, la plupart des soudures mettant en cause des matériaux inférieurs à 0,70 mm sont considérées comme ayant une valeur structurale négligeable. Par contre, la norme D 1.3 couvre la soudure de matériaux plus minces. Revoir les normes avant de décider de procéder à des raccordements soudés.

1.3.3 [Les entreprises de soudure doivent être agréées par le Bureau canadien de soudure conformément à la norme CSA W47.1, les méthodes de soudure devant être approuvées et les soudeurs qualifiés pour les types et épaisseurs de matériaux de base à souder.]

RÉDACTEUR : Souder les poteaux d'acier requiert du personnel expérimenté et le matériel tout indiqué. Vérifier la disponibilité des deux dans la localité où se déroulent les travaux. Les zones soudées exposées à l'humidité sont sujettes à la rouille, à moins d'être préparées comme il se doit et retouchées à l'aide d'un revêtement riche en zinc. La préparation suffisante pour assurer un bon contact de métal à métal entre les particules de zinc de la peinture et l'acier s'impose par souci de protection efficace. La protection des points de soudure contre la corrosion et la disponibilité de personnel expérimenté comportent peut-être des inconvénients, mais les raccordements soudés ont pour avantage d'être plus résistants et moins flexibles que les raccordements mécaniques.

1.4 CRITÈRES DE CALCUL

1.4.1 Calculer les propriétés structurales conformément à la norme CAN/CSA-S136, aux règles de calcul aux états limites à l'aide des facteurs de charge et de résistance.

1.4.2 Calculer les charges et les charges pondérées conformément au [Code national du bâtiment] [_____].

1.4.3 Déterminer les résistances et les résistances pondérées conformément au [Code national du bâtiment] [_____] et à la norme CAN/CSA-S136.

1.4.4 Se conformer aux exigences visant les ensembles de construction cotés quant à leur résistance au feu [indiqués] [qui ont été testés en conformité avec la norme CAN/ULC-S101-M et assurent un degré de résistance au feu de [_____].

1.4.5 Choisir des poteaux qui fléchiront sous les charges latérales spécifiées d'au plus [L/240] [L/360] pour les murs portant [le parement métallique] [le stucco] et [L/720] [_____] pour les murs portant le placage de maçonnerie. Limiter toute liberté de jeu et de mouvement des raccordements perpendiculaires au plan de l'ossature à [0,5] [1] [__] mm par rapport à la structure du bâtiment.

RÉDACTEUR : Il faut considérer plus que la rigidité des poteaux. La flèche qu'accuse le parement dépend non seulement de la flexion des poteaux, mais aussi du jeu et du déplacement latéral des raccordements sous charge. Les déformations localisées peuvent également intervenir lorsque le parement est assujetti aux poteaux. La norme CSA S304.1 requiert que la combinaison de tous ces effets entraîne une flèche inférieure à L/600, si la rigidité (EI) du mur de fond est 2,5 fois moindre que celle du placage non fissuré. Cette exigence est considérée comme respectée si la flèche de l'ossature est inférieure à L/720 et que la moitié du jeu des attaches plus la flèche résultant d'une charge de 0,45 kN ne dépasse pas 1,0 mm. Ces flèches ne préviendront pas la fissuration, mais la fonction écran pare-pluie du mur limitera à un niveau acceptable la pénétration d'eau. Le renforcement autour des ouvertures et une exécution soignée dans les moindres détails s'avéreront beaucoup plus judicieux que le choix de poteaux plus rigides. Lorsqu'on procède à une investigation structurale complète de l'interaction de l'ossature murale, des raccordements, des attaches, des dimensions et endroits des ouvertures ainsi que du placage de maçonnerie, d'autres limites de fléchissement peuvent être appropriées. D'autres parements peuvent peut-être mieux tolérer une flexion supérieure du placage de maçonnerie, mais moins bien le déplacement vis-à-vis les points de raccordement, compte tenu des détails d'exécution. Le placage de brique repose généralement au bas sur la cornière d'appui et subit une rotation sans entraîner de dégradation lorsque le raccordement en partie supérieure est flexible. Peu importe le parement, L/360 représente la limite admissible la moins restrictive en présence de parement en plaques de plâtre ou de revêtement de finition intérieure.

1.4.6 Espacer les poteaux muraux à des intervalles maximaux de [300] [400] [_____] mm [par paires disposées dos à dos].

RÉDACTEUR : Si l'espacement des poteaux requis est inférieur à 300 mm, disposer les poteaux dos à dos constituerait une mesure structurale plus efficiente qui permettrait peut-être d'éviter de recourir à des contreventements. Spécifier l'espacement des poteaux requis pour porter le parement et les revêtements de finition.

1.4.7 La largeur des poteaux est indiquée sur les dessins. Déterminer l'épaisseur ou l'espacement des poteaux ou les deux, suivant les critères de calcul requis. Recourir à des poteaux de largeur supérieure ou inférieure uniquement s'ils sont approuvés par [l'ingénieur] [le consultant].

1.4.8 Calculer les systèmes de poteaux métalliques et les raccordements en fonction de la gamme complète de tolérances permises dans les matériaux avoisinants.

RÉDACTEUR : Coordonner les tolérances spécifiées pour les matériaux avoisinants avec les détails d'exécution apparaissant sur les dessins pour en réaliser la faisabilité par rapport à toute la gamme de positions possibles de chaque élément. Spécifier des tolérances plus serrées au besoin.

1.4.9 Calculer les raccordements aux extrémités des poteaux pour tenir compte du fléchissement structural, du raccourcissement de l'ossature, et des tolérances verticales permises en structure pour que les poteaux ne subissent pas de charges axiales. [Prévoir un écart de [_____] mm par rapport à la hauteur entre le plancher et la tête pour tous les effets combinés.]

RÉDACTEUR : Consulter le concepteur de la structure du bâtiment pour déterminer le mouvement structural possible au cours des travaux et après coup, et ajouter une marge de tolérance supplémentaire, compte tenu des tolérances admises dans la structure. Si les poteaux doivent être prétaillés, considérer le degré d'exactitude d'une telle façon de procéder. On pourra prévoir une marge moindre en matière de tolérance que la somme des extrêmes admissibles, puisqu'il est peu probable que deux pires cas ou plus se produisent à la même place.

1.4.10 Tenir compte des charges locales attribuables à l'ancrage du parement et aux appareils fixés aux murs intérieurs, aux endroits indiqués.

1.4.11 Calculer les entretoises de façon à prévenir la rotation des éléments et leur translation perpendiculaire à l'axe mineur dans le cas des poteaux portant des charges latérales. Prévoir les effets de contraintes secondaires dus à la torsion entre les rangées d'entretoises. [Le revêtement intermédiaire peut servir à contrer la rotation des éléments et la translation perpendiculaire à l'axe mineur dans le cas des poteaux appelés à porter les charges dues au vent.] [Ne pas compter sur le parement, le revêtement intermédiaire ou l'isolant pour assurer le contreventement latéral.] Disposer des entretoises métalliques à entraxe maximal de 1 5000 mm] [1 220 mm pour le placage de brique.] Réduire l'espacement si la conception structurale l'exige.

RÉDACTEUR : Autoriser l'utilisation de revêtement intermédiaire en plaques de plâtre comme contreventement uniquement en milieu sec. Les dispositifs de fixation standards peuvent ne pas suffire si le revêtement intermédiaire en plaques de plâtre sert de contreventement; coordonner les exigences de fixation énoncées à la section [09250] pour faire en sorte que les charges cycliques ne compromettent pas l'efficacité du revêtement intermédiaire tenant lieu de contreventement.

1.5 DOCUMENTS ET ÉCHANTILLONS À SOUMETTRE

1.5.1 Présenter les documents et échantillons en conformité avec la [section [01340] [01300] [division 1].

RÉDACTEUR : Renvoyer à la section 01340 pour les projets du gouvernement fédéral. Autrement, renvoyer à la section 01300 ou à la division 1, sinon supprimer ce paragraphe.

1.5.2 Présenter les dessins d'atelier indiquant les charges de calcul, les dimensions et l'espacement des éléments, les matériaux, leur épaisseur exception faite du revêtement, les caractéristiques des sections, les spécifications des revêtements, les détails de raccordement et de contreventement, les types, les dimensions et l'espacement des dispositifs de fixation [ou points de soudure], ainsi que les tolérances. Indiquer l'endroit, les dimensions, les ouvertures, les tolérances et les besoins de coordination des travaux avoisinants.

1.5.3 [Indiquer les dimensions nominales du cordon de soudure pour les matériaux de moins de 3 mm d'épaisseur. Pour de telles soudures, la gorge ne doit pas être inférieure à l'épaisseur de la partie raccordée la plus mince.

1.5.4 Indiquer la coordination des opérations touchant [les crampons pour maçonnerie] [le parement extérieur] et autres raccordements, dont les bâtis de fenêtres et de portes, les persiennes, les boiseries, les appareils sanitaires, ainsi que les appareils et tableaux électriques.

RÉDACTEUR : Il s'agit d'une tâche onéreuse. L'ampleur et la complexité du travail doivent être considérées et cette exigence simplifiée en conséquence. Plus un détail d'exécution particulier devra être répété, plus il sera important d'y voir minutieusement à l'avance. Par contre, dans le cas de projets de faible envergure, les dessins d'atelier devront être considérablement simplifiés.

1.5.5 Présenter deux (2) exemplaires certifiés des rapports d'usine faisant état des propriétés chimiques et mécaniques, de même que de la désignation du revêtement de l'acier utilisé au cours des travaux.

1.5.6 Présenter les fiches techniques des dispositifs de fixation mécaniques, indiquant les dimensions, les capacités de charge, et le genre de protection contre la corrosion.

1.5.7 Présenter des échantillons de tous les composants d'ossature et dispositifs de fixation si la demande en est faite.

1.5.8 S'abstenir d'exécuter les travaux avant l'achèvement de la revue des documents et échantillons présentés [à part les rapports d'examen des opérations de chantier].

1.5.9 Présenter deux (2) exemplaires des rapports d'examen des opérations de chantier.

2. Produits

2.1 MATÉRIAUX

2.1.1 Tôle d'acier : conforme à la norme CAN/CSA-S136, avec revêtement métallique [de zinc électrolytique] [de zinc (galvanisé) par immersion à chaud] [aluminium-zinc].

RÉDACTEUR : Pour les projets du gouvernement fédéral, le Devis directeur national contient des exigences supplémentaires qui seraient autrement bien traitées dans la norme S136.

2.1.2 Revêtement de zinc électrolytique : conforme à la norme ASTM A591/591M, classe [___] [C].

RÉDACTEUR : Le revêtement de classe A ne comporte pas d'épaisseur minimale. Celui de classe B requiert 24 g/m² de zinc, celui de classe C, 48 g/m². Aucun d'eux ne convient à une exposition extérieure. Le revêtement de classe C est recommandé pour les ossatures intérieures. Pour les murs extérieurs, utiliser des éléments galvanisés par immersion à chaud.

2.1.3 Revêtement de zinc (galvanisé) par immersion à chaud : conforme à la norme ASTM A653M, et portant la désignation [_____]. [ZF75] [Z180] [Z275] [Z350].

RÉDACTEUR : Les désignations des revêtements courants selon leur poids répondant à la norme A653M sont indiqués ci-dessus par ordre croissant d'épaisseur. Vérifier auprès du fabricant les revêtements disponibles. Le revêtement ZF75 s'utilise pour les ossatures intérieures, le revêtement Z180 s'emploie souvent pour les murs extérieurs, sauf qu'il n'est pas recommandé à moins que le pare-air soit placé du côté extérieur, sans isolant thermique dans les espaces entre les poteaux. Le revêtement Z275 (équivalent métrique de G90) est le revêtement le plus répandu à l'heure actuelle. D'autres désignations possibles sont indiquées ci-dessous. Les revêtements plus épais que le Z350 sont difficiles à réaliser pour des éléments d'ossature formés à froid. À mesure qu'augmentent l'épaisseur du zinc et la résistance à l'allongement, il faut compter sur un rayon de courbure minimal plus grand. Les revêtements plus épais que le Z275 ne s'obtiennent pas en bas de rouleaux de 20 tonnes.

Désignation	Description
ZF001	Alliage Zn-Fe alum, aucune épaisseur minimale
ZF75	Alliage Zn-Fe alum, 75 g/m² de zinc
Z001	Zinc, aucune épaisseur minimale
Z120	Zinc, 120 g/m²
Z180	Zinc, 180 g/m²
> Z275	Zinc, 275 g/m² <
Z350	Zinc, 350 g/m²
Z450	Zinc, 450 g/m²
Z600	Zinc, 600 g/m²
Z700	Zinc, 700 g/m²
Z900	Zinc, 900 g/m²
Z1100	Zinc, 1100 g/m²

2.1.4 Tôle d'acier à revêtement d'aluminium et zinc : conforme à la norme ASTM A792M, avec revêtement d'alliage d'aluminium et zinc portant la désignation [AZ150][AZ165] [AZ180].

RÉDACTEUR : Les fabricants préfèrent ne pas utiliser de matériau revêtu d'aluminium et de zinc, étant donné que le revêtement pèle généralement et adhère aux rouleaux au cours du formage. Consulter le fournisseur avant d'en faire usage.

2.1.5 [Matériaux de soudure : conformes à la norme CSA W59.]

2.1.6 [Électrodes de soudure : résistance minimale à la traction de 480 MPa (ex.: E480XX, E480S-X).]

2.1.7 [Apprêt : organique, riche en zinc, conforme à la norme CAN/CGSB-1.181.]

RÉDACTEUR : Pour être tout à fait efficace, l'apprêt doit être appliqué aux surfaces préparées au SSPC-10 ou de préférence au SSPC-5. Les deux se prêtent difficilement à la soudure sur place d'éléments en acier léger.

2.2 OSSATURE

2.2.1 Forme des éléments et perforations : conformes à la norme CAN/CGSB-7.1.

2.2.2 Poteaux d'acier : tôle d'acier laminé [revêtement de zinc selon procédé électrolytique] [galvanisé] [avec revêtement aluminium et zinc], selon l'épaisseur, le matériau et le profil dictés par les règles de conception, identifiée quant à son épaisseur par une marque indélébile ou un code de couleur conforme aux indications suivantes :

Coloueur Code	Métal de base nominal Épaisseur, mm
Blanc	0,91
Jaune	1,22
Vert	1,52
Orange	1,91

RÉDACTEUR : Une épaisseur minimale de 1,22 mm doit être requise pour éviter la déformation locale au cours de la manutention et de l'assemblage, et lorsque des crampons pour maçonnerie y sont fixés.

2.2.3 Rails : en tôle d'acier laminé du même genre que les poteaux, d'une épaisseur égale ou supérieure, identifiée ou codée quant à sa couleur de la même manière.

2.2.4 Contreventements : profilés en tôle d'acier galvanisé, laminé, d'au moins [38,1 x 12,7 x 1,22] [38,1 x 12,7 x 1,52] [38,1 x 19 x 1,52] mm.

2.2.5 Fixation des contreventements : cornières d'au moins 1,52 mm d'épaisseur, en tôle d'acier galvanisé, avec ailes d'au moins 38 mm et d'une longueur inférieure à la profondeur des poteaux pouvant atteindre 13 mm, [perforées d'avance pour fixer les vis aux poteaux et aux contreventements.

2.2.6 Perforations : pratiquer des perforations selon les profilés de contreventement à entraxe de [600] [610] 1200] [1220] [_____] mm; centrer les perforations dans l'âme des poteaux; limiter les perforations non renforcées aux dimensions suivantes (en mm) :

Largeur de l'élément	Max. dans le sens de la largeur de l'élément	Max. dans le sens de la longueur de l'élément	Entraxe minimal	Distance min. de l'extrémité*
92	40	105	600	300
102	40	105	600	300
152	65	115	600	300
203	65	115	600	400

* jusqu'à l'âme de la perforation.

2.3 DISPOSITIFS DE FIXATION

2.3.1 Dispositions d'ancrage dans le béton : dispositifs filetés conçus pour se visser dans les trous préforés dans le béton, les ancrages d'expansion ou les ancrages pour poteaux perforés fixés par adhésif; avec diamètre minimal de 5 mm, [en acier avec revêtement de 0,008 mm de zinc ou de cadmium] [ou] [en acier inoxydable de la série 400 avec revêtement de zinc, avec couche de conversion au bichromate], [ou] [en acier galvanisé par immersion à chaud].

RÉDACTEUR : Les dispositifs de fixation enfoncés à l'aide d'un pistolet mécanique ne doivent pas être utilisés près du chant d'un élément de béton, et ils ne sont pas fiables sur le plan structural. Les ancrages d'expansion utilisés pour les poteaux requièrent une distance minimale par rapport au chant. Déterminer une distance sûre du chant à partir des pires combinaisons de tolérances permises. Les coquilles d'expansion se révèlent peu pratiques, puisque le trou foré dans le béton doit être d'un diamètre supérieur au trou du rail.

2.3.2 Boulons et écrous : conformes à la norme ASTM A307, avec de grosses rondelles plates, en acier galvanisé par immersion à chaud.

2.3.3 Vis : à tête hexagonale, à tête cylindrique ou à tête mince, autoforeuse, autotaraudeuse, en métal, avec revêtement plaqué zinc ou cadmium d'au moins 0,008 mm. Choisir des dispositifs de fixation reconnus pour ne pas s'abîmer suivant la combinaison des épaisseurs de matériau à fixer et des outils à utiliser.

RÉDACTEUR : Si la tenue en service l'expose de façon prolongée ou répétitive à l'humidité, peut-être faudra-t-il assurer une meilleure protection contre la corrosion. Envisager d'utiliser des dispositifs de fixation en acier inoxydable de la série 400 revêtu de zinc ou de cadmium et d'une couche de conversion au bichromate. À noter aussi qu'il est parfois difficile d'utiliser des dispositifs de fixation autoforeurs ou autotaraudeurs pour assujettir un matériau épais à un matériau plus léger.

3. Assemblage

3.1 QUALITÉ D'EXÉCUTION

3.1.1 [Fabriquer et monter les systèmes à poteaux conformément aux dessins d'atelier revus.] Lorsqu'il se produit d'autres situations que des changements de dimensions mineurs, dont ne font pas état les dessins d'atelier, obtenir des directives de l'ingénieur responsable de la conception des poteaux d'acier.

RÉDACTEUR : Pour les devis de projets ne relevant pas du gouvernement fédéral, la première phrase peut être supprimée si elle ne fait que répéter les exigences énoncées au début.

3.1.2 Tailler les éléments à la scie ou aux cisailles.

3.2 MONTAGE

3.2.1 Ériger l'ossature pièce par pièce ou en panneaux sur place ou hors du chantier.

3.2.2 Ériger l'ossature droit et d'aplomb dans les tolérances spécifiées. Tenir compte des véritables dimensions des travaux déjà réalisés et déterminer la position de l'ossature en conséquence. Procéder à toutes les mesures nécessaires pour que tous les éléments soient bien ajustés.

3.2.3 Prévoir des contreventements temporaires s'il en faut pour que l'ossature puisse supporter les charges appliquées au cours de l'assemblage et après les travaux de construction.

3.2.4 Ancrer solidement les rails à la structure à entraxe maximal de [_____] [800 mm]. Placer un dispositif d'ancrage supplémentaire à moins de [150] [100] mm de chaque extrémité de chaque pièce de toutes les pièces de rail, et d'autres selon que le requiert la conception structurale.

RÉDACTEUR : Dans certains cas, un entraxe de 800 mm sera trop marqué. Déterminer les dimensions et l'espacement des dispositifs d'ancrage d'après la charge que porte chaque dispositif d'ancrage par rapport à la capacité des dispositifs d'ancrage et la flèche maximale du rail entre les dispositifs d'ancrage.

3.2.5 Ériger les poteaux d'aplomb et assurer leur alignement, fixer les deux ailes aux pattes des rails supérieurs et inférieurs au moyen d'une vis, d'un diamètre minimal n° 8, à chaque raccordement (4 par poteau). S'abstenir d'éclisser les poteaux.

3.2.6 Renforcer les perforations survenant à moins de 300 mm de l'extrémité du poteau. [Aligner les perforations des poteaux à l'horizontale.] S'abstenir d'autoriser d'autres perforations à pied d'oeuvre, à moins qu'elles soient approuvées par l'ingénieur responsable de l'établissement des dessins d'atelier.

RÉDACTEUR : Les perforations situées près des raccordements d'extrémité risquent de réduire considérablement la capacité porteuse de tout le poteau. S'il n'est possible d'obtenir que des poteaux présentant des performations près des extrémités, des renforts devront être calculés et apparaître sur les dessins d'atelier. Les perforations doivent être alignées pour favoriser l'assujettissement des profilés d'entretoisement et l'installation des services.

3.2.7 [Utiliser un rail interne et un rail externe emboîtés pour les besoins de la fixation à la structure au-dessus.] [Recourir à des pattes de fixation flexibles pour fixer les poteaux à la structure au-dessus.] [Recourir à des pattes de fixation coulissantes pour fixer les poteaux à la structure au-dessus.] Laisser un jeu minimal de [12 mm] [_____] pour donner libre cours au mouvement structural. Calculer les raccordements d'extrémité pour combler le maximum du jeu en plus de tenir compte du fléchissement latéral sous l'effet de la charge de calcul intégrale de [____] [1,0] mm au raccordement inférieur et de [_____] au raccordement supérieur.

3.2.8 [Mettre en oeuvre des poteaux supplémentaires à au plus 50 mm des murs d'about, des ouvertures, des jonctions avec d'autres matériaux, et de part et d'autre aux angles.

RÉDACTEUR : Cette exigence revient souvent dans les devis courants et se révèle tout indiquée pour les murs intérieurs ne faisant l'objet d'aucun travail de génie technique. Elle n'est pas nécessaire si l'ingénieur responsable de la conception a envisagé ces conditions.

3.2.9 Réaliser le bâti d'attente de toutes les ouvertures des murs à poteaux, sauf des ouvertures de moins de [100 mm] de toute dimension, et prévoir, selon les besoins structuraux, des éléments d'ossature et des contreventements supplémentaires aux points de fixation des appareils muraux pour bien porter les charges.

RÉDACTEUR : Revoir les dimensions des ouvertures pour faire en sorte que les charges s'exerçant sur les fenêtres, les portes et autres fermetures soient bien soutenues. Les dessins d'atelier doivent montrer des supports supplémentaires pour les grandes ouvertures (correspondant en général à l'espacement de 3 poteaux ou plus). Dans le cas des grandes ouvertures, il peut être peu pratique de mettre en oeuvre des éléments d'ossature d'acier supplémentaires. En pareil cas, indiquer en détail les systèmes de support distincts (éléments d'ossature en acier laminé à chaud, par exemple) dans les documents contractuels.

3.2.10 Contreventer les poteaux d'acier avec [des profilés de contreventement horizontaux par les perforations des poteaux] [des entretoises à bande plate] à entraxe vertical maximum de [1 500 mm] [1 220 mm pour le placage de brique]. [Fixer les profilés de contreventement horizontaux à chaque poteau à l'aide de dispositifs de liaison d'entretoises et de quatre (4) vis de diamètre minimal n° 8 [ou par soudage].

RÉDACTEUR : Inclure un détail isométrique de ce raccordement dans les documents contractuels. La résistance et la rigidité de l'ossature d'acier dépendent toutes deux de ce raccordement.

3.2.11 Poser les contreventements les plus longs possibles. Le cas échéant, recourir à des éclisses de longueur supérieure à l'espace entre deux poteaux, en fixant chaque extrémité à un poteau, sinon [renforcer les éclisses au moyen de profilés d'entretoisement renversés de 300 mm de longueur, centrés sur le joint, et fixés aux extrémités (4 vis ou points de soudure), 1 à chaque extrémité du renfort, 1 à l'extrémité de chaque pièce éclissée)].

3.2.12 Coordonner l'assemblage des poteaux avec l'installation des canalisations de service.

3.2.13 Recourir à des vis suffisamment longues pour pénétrer les matériaux ainsi joints par plus de trois (3) filets exposés. Utiliser des dispositifs de fixation à tête mince [ou des cordons de soudure] si des produits en panneaux doivent être fixés contre eux.

3.2.14 Pour les matériaux à fixer, employer des vis ayant les capacités de forage et de retenue recommandées par le fabricant. Choisir différentes vis si celles qui ont été sélectionnées à l'origine ne s'enfoncent pas efficacement ou ont tendance à s'abîmer.

3.2.15 Réparer le revêtement de zinc [ou les cordons de soudure] endommagé [s] à l'aide d'un apprêt riche en zinc, conformément à la norme ASTM A780.

3.3 TOLÉRANCES DE MONTAGE

3.3.1 Aplomb : 1/500 max. de la longueur des éléments.

3.3.2 Rectitude (cambrure et courbure) : 1/1 000 max. de la longueur des éléments. Remplacer les éléments accusant du flambage ou des flexions locales.

3.3.3 Espacement : pas plus de 3 mm par rapport à l'espacement de calcul, non cumulatif.

3.3.4 Endroit : à moins de 10 mm de l'alignement indiqué, et à moins de 5 mm lorsque l'alignement de la structure le permet.

3.3.5 Jeu entre l'extrémité du poteau et l'âme du rail (raccordés) : 4 mm maximum.

3.3.6 Alignement des éléments contigus ou en about dans le même plan, lorsqu'ils portent le parement ou un revêtement intermédiaire continu : 1 mm maximum.

RÉDACTEUR : Ces tolérances se retrouvent dans des devis directeurs depuis plusieurs années. Elles pourraient cependant être irréalistement et inutilement restrictives.

3.4 CONTRÔLE DE LA QUALITÉ SUR PLACE

3.4.1 L'ingénieur responsable de la conception du système à poteaux métalliques et de l'établissement des dessins d'atelier doit revoir régulièrement le déroulement des travaux sur le chantier au cours de la construction et présenter après chaque visite un rapport pertinent [à l'ingénieur] [au consultant].

3.4.2 [Ces revues effectuées sur place doivent comporter un examen des rapports d'essai à l'usine, des raccordements soudés, des dimensions des éléments, de l'épaisseur des matériaux, de l'épaisseur du revêtement, des raccordements vissés, des tolérances de montage, et de toutes les coupes faites sur place, y compris les coupes et le ragréage par les autres hommes de métier].

RÉDACTEUR : Inclure ce paragraphe pour les projets où une inspection indépendante est jugée injustifiée.

3.4.3 Les inspections et tests supplémentaires des matériaux et de la qualité d'exécution doivent être effectués par un organisme d'inspection indépendant affecté par [le consultant] [l'ingénieur]. Ils consisteront entre autres à :

1. vérifier la bonne corrélation des rapports d'essai à l'usine et des matériaux;
2. fabriquer les échantillons et les méthodes de montage pour assurer la conformité générale avec les dessins d'atelier et les exigences contractuelles;
3. [vérifier que le soudage est conforme aux dessins d'atelier, au devis et aux normes spécifiées;
4. vérifier les formes et profils des éléments fabriqués;
5. [vérifier les échantillons de la préparation des joints et la convenance des raccordements soudés.]
6. mener une inspection visuelle de tous les raccordements soudés;
7. vérifier les échantillons des [joints vissés et boulonnés] et [l'ancrage à la structure];
8. vérifier que les tolérances des échantillons ne sont pas dépassées au cours de la mise en place ou du montage;
9. mener une inspection générale des coupes et ajustements faits sur place pour tenir compte des autres aspects des travaux;
10. présenter les rapports [au consultant] [à l'ingénieur] à l'ingénieur responsable de l'établissement des dessins d'atelier, et à l'entrepreneur, couvrant les travaux inspectés et faisant état de toutes les anomalies relevées.

RÉDACTEUR : Vérifier les exigences supplémentaires suivantes généralement énoncées dans les conditions ou exigences générales. L'entrepreneur doit autoriser l'accès et collaborer à la tenue de l'inspection; l'inspection ne le libère pas de sa responsabilité, qu'une anomalie ait été ou non découverte ou rapportée; l'entrepreneur peut se voir contraint de retirer les matériaux, même si pour ce faire il doit détruire et refaire d'autres travaux; et l'entrepreneur absorbe tous les frais d'une inspection ou d'essais jugés nécessaires pour dévoiler la pleine étendue des défauts décelés.

3.4.4 Le coût des revues sur place fait partie du prix contractuel. Les droits d'inspection sont intégrés à [l'allocation pour essais] [_____].

Fin de la section.

Autres produits d'information utiles provenant de la Société canadienne d'hypothèques et de logement.

Centre d'innovation pour les immeubles collectifs et tours d'habitation
Soyez au courant des dernières recherches grâce au site *Web* du Centre d'innovation pour les immeubles collectifs et tours d'habitation, que vous pouvez consulter à l'adresse du site *Web* principal de la SCHL, www.cmhc-schl.gc.ca

Guide des règles de l'art : Ossature en acier et placage de brique
Améliorez la performance de l'enveloppe de vos bâtiments grâce à une liste de contrôle de conception et à des solutions éprouvées par des gens de l'industrie à partir de travaux de recherche et d'études sur le terrain portant sur la conception des murs à ossature d'acier et placage de brique. Le CD-ROM propose 11 dessins de CAO en mesures métriques et impériales ainsi que des spécifications (150 pages). En vente dès maintenant.
No de commande : 61310. 89,00 $

Guide des règles de l'art : Fond en blocs de béton et placage de brique
À jour et faisant autorité, ce *guide* propose des solutions mises à l'épreuve par les gens de l'industrie dans la conception des murs composés d'un placage de brique sur fond en blocs de béton et présente d'importants points à considérer dans leurs applications. Les renseignements et les dessins détaillés tiennent compte des normes de l'industrie. On y explique la conception et la construction d'ouvrages de maçonnerie, les éléments d'assemblage, les concepts de la science du bâtiment, le contrôle de la qualité, l'entretien, la réparation et bien plus. Le CD-ROM offert avec le *guide* de 234 pages renferme 24 dessins de CAO en mesures métriques et impériales ainsi que des spécifications types. En vente dès maintenant. **No de commande : 61311. 89,00 $**

Guide des règles de l'art : Solins
Ce *guide* et le CD-ROM qui l'accompagne offrent aux architectes, ingénieurs, concepteurs et constructeurs une bonne vue d'ensemble des principes et des règles de l'art dans la conception et la réalisation des solins. Ce *guide* de 150 pages et le CD-ROM renferment de l'information sur les matériaux et leur mise en oeuvre, la maîtrise des forces, l'orientation du ruissellement, la tensions de surface, l'action capillaire ainsi que des listes de contrôle destinées aux constructeurs et aux concepteurs. En vente dès maintenant.
No de commande : 61312. 89,00 $

Guide des règles de l'art : Enveloppes de bâtiments à ossature de bois
La construction à ossature de bois ne cesse d'évoluer et à mesure que la technologie progresse, de nouvelles techniques de conception et de construction de bâtiments font leur apparition, sans compter que les économies d'énergie revêtent de plus en plus d'importance. Le présent Guide vous donne un aperçu des détails d'exécution de l'enveloppe d'un bâtiment à ossature de bois et de l'information opportune sur une vaste gamme de sujets, comme les caractéristiques des ossatures de bois, le contrôle et le transfert d'humidité, la pénétration de la pluie, le mouvement de chaleur, les murs et les fenêtres. Le Guide comporte également une liste pratique de contrôle d'inspection sur le chantier. À paraître sous peu. **No de commande : 61313. 89,00 $**

Guide des règles de l'art : Enveloppe de bâtiments à ossature de bois dans le climat côtier de Colombie-Britannique
La construction dans les régions côtières de Colombie-Britannique présente des difficultés particulières. Ce *guide* de 200 pages renferme les renseignements les plus à jour et les plus fiables sur la question. Accompagné d'un CD-ROM, il offre les données techniques les plus complètes sur la façon de construire des bâtiments pour qu'ils subissent avec succès les conditions du climat côtier de Colombie-Britannique. L'information fournier porte sur le comportement du bois en construction, la maîtrise de l'humidité à la source, les mécanismes qui influent sur le mouvement de la chaleur, les caractéristiques ,les éléments et les matériaux particuliers de l'enveloppe qui doivent être inclus dans les devis, des stratégies d'assurance de la qualité, des stratégies d'entretien et de rénovation et plus de trente détails de construction clairement illustrés. À paraître sous peu.
No de commande : 61153. 89,00 $

Commandez maintenant en composant le

1 800 668-2642

au Canada ou, à l'étranger, le 613 748-2003